

A polgárdi Szár-hegy andezittelérei és szkarnos képződményei

Andesite dykes and skarn formations of the Szár Hill, Polgárdi, Hungary

DUNKL István^{1,*}, HORVÁTH István² és JÓZSA Sándor³

¹ Institut für Geowissenschaften, Universität Tübingen, Sigwartstrasse 10,
D-72076 Tübingen, Germany.

² Magyar Állami Földtani Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

³ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Közettan-Geokémiai Tanszék,
1117 Budapest, Pázmány P. sétány 1/C.

* e-mail: istvan.dunkl@uni-tuebingen.de

Abstract

The Transdanubian Central Range (western Hungary) is composed of metamorphic Paleozoic and unmetamorphic Mesozoic sequences. The oldest formations are exposed to the surface along the Balaton Highland and West-Northwest of Lake Velence. The quarry at the Szár Hill (between the villages Polgárdi and Szabadbattyán) exposes white limestone and marble of Devonian sedimentation age. The limestone is crosscutted by rhyolite dykes of Permian and andesite dykes of Triassic age. The pyroxene amphibole andesite bodies are strongly transformed to propylite (Q + Kfs + Ms + Chl + Ep + Tre + Pi). Along the contact of the andesite dykes and the limestone-marble host rock skarn mineralization was formed. Both the dykes and the calcium silicate contact zones have irregular shapes. The skarn is missing in case of several dykes where the andesite has an immediate contact to the limestone.

The skarn is usually zoned, banded. The endoskarn is developing from the andesite along a few-mm-wide transitional zone. This fuzzy diffusional front is composed of microcrystalline calcium garnet that transforms to fine grained and later on cm-coarse vesuvianite crystals. The isometric and acicular vesuvianite is the major component of the well developed, brown endoskarn. Ca-garnet (Grs 0 to 30%, Adr 70 to 100%), epidote, prehnite and pyrite are present only in subordinate amount; the matrix is calcite. The light green diopside skarn is the next (already exoskarn) layer. Usually it is composed of diopside and calcite only. The size of the crystals varies from 40 μm to >1 cm. Towards the limestone (marble) the next zone is the white wollastonite skarn, which isn't developed everywhere.

The magnesium skarn (predazzite) was produced by the thermal effect of the intrusive bodies and the fluid circulation where the host carbonatic sequence had a dolomitic composition before the contact event. The predazzite is basically a brucite- and serpentine-containing marble, but in several places the relics of tiny forsterite, spinel and periclase crystals are also preserved. These predazzite bodies do not follow the contact zones developed along the andesite dykes; they occur in form of disseminated, irregular bodies.

A late hydrothermal transformation has created decomposition and hydration of the calcium silicate minerals. From diopside and wollastonite SiO_2 and Ca^{2+} has liberated and formed opal-CT, calcite and aragonite along the calcium exoskarn. This light green "opal zone" in some places is as thick as 40 cm. The formation of brucite and serpentine in the Mg-skarn are related also to this late hydrothermal phase.

Összefoglalás

A balatonfői kristályos vonulatban feltárt devon korú Polgárdi Mészkövet perm korú riolit- és triász andezittelérek járják át. A piroxén-amfibolandezittelérek közelében a mészkö át-kristályosodott, és a kontaktusokon változatos ásványtársulás alakult ki. A magmás hatásra bekövetkezett ásványképződés értékelésénél megkülönböztetjük a propilit és a szkarnos parageneziseket. Az előbbi egy autometaszomatikus folyamat során létrejött, víztartalmú szilikátokból, kvarcból és piritből álló propilit, amely az andezittelérek egész tömegében megfigyelhető.

A többnyire az andezit és a mészkö kontaktusa mentén kialakult szkarn változatos, sávosan elrendezett mész-szilikátos ásványtársulásból áll. Az andezitből az endoszkarn egy néhány mm széles átmeneti sávval alakul ki, amely mikrokristályos gránátból és az abból fokozatosan átkristályosodó, először szintén mikrokristályos, majd mm-es, cm-es méretű vezuviánból áll.

(1) Az endoszkarn fő alkotója a vezuvián, amely lehet tűs-sugaras, illetve közel izometrikus, idiomorf megjelenésű. Valószínűleg a sugaras a korábbi kiválás. Kalciumgránát (Grs 0–30%, Adr 70–100%), epidot, prehnit lehet még jelen az endoszkarnban, amelynek alapanyagát többnyire kalcit alkotja.

(2) A kontaktus közelében képződött exoszkarn belső öve általában egy 0–10 cm széles diopszidszkarn sáv, amely a barnás színű endoszkarn és a márvány között helyezkedik el. Helyenként a diopszidszkarn a márvány felőli oldalon fehér, sugaras kristályokból álló wollastonitszkarnba megy át.

(3) A magnéziumszkarn valószínűleg az eredetileg dolomitartalmú mészköpadok mentén képződött. A mészköösszletben elszórta, az andezittelértől messzebb is elhelyezkedő, predazzit jellegű magnéziumszkarn prográd fázisban létrejött ásványai (a kalcit mellett) a forsterit és a periklász.

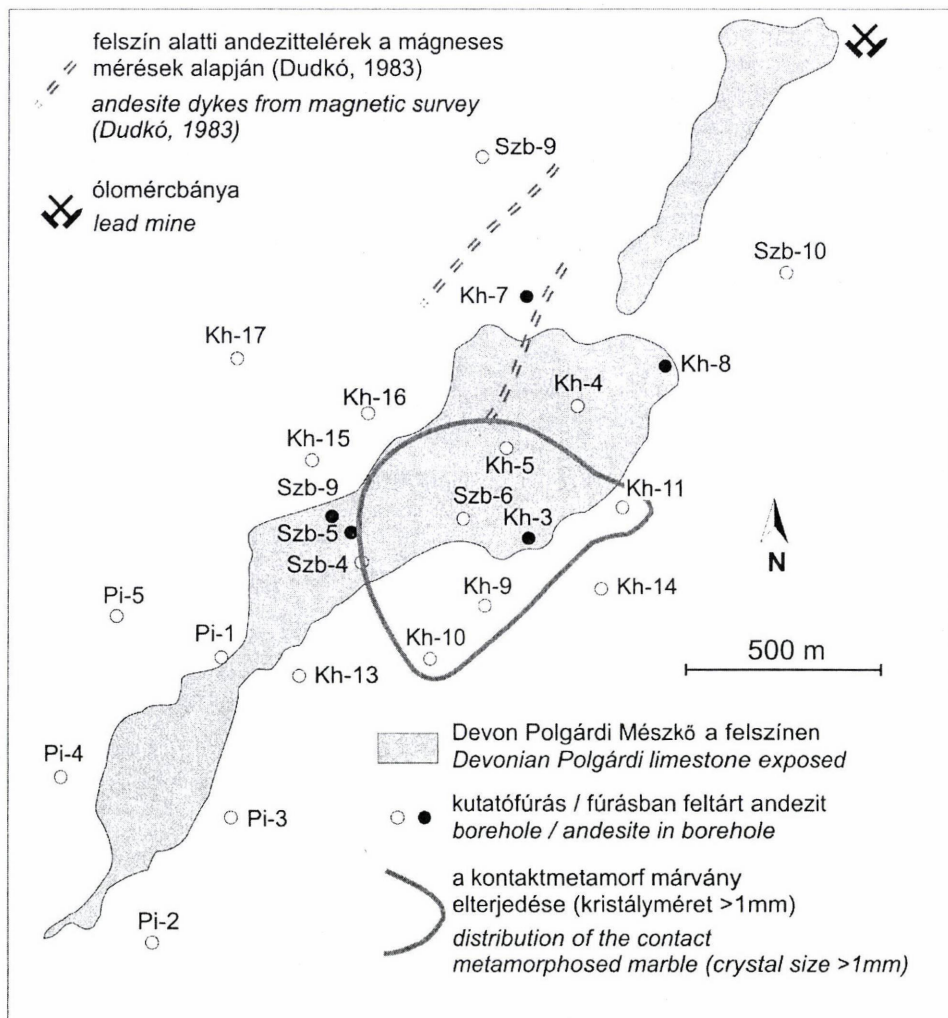
A kontakt képződményeket egy késői, hidrotermás, retrográd hatás is érte, ez néhány Ca-szilikát átalakulásában nyilvánult meg. (1) A kontaktus mentén, az exoszkarnban a wollastonit kalcitá alakult és a felszabaduló SiO_2 -ből opál vált ki. A világoszöld, üveges fényű, helyenként több 10 cm széles opál aragonitot is tartalmaz. (2) A szórt Mg-exoszkarn vízmentes, magas hőmérsékleten képződött szilikátjai szerpentinásványokká és brucitá alakultak a késői hidrotermás fázis során.

1. Bevezetés

A polgárdi Szár-hegy a közép-magyarországi szerkezeti övben helyezkedik el, itt bukannak a felszínre a Bakony rétegsorának legidősebb ismert képződményei (Dudko, 1988). Az üledékes rétegsor fossziliákkal dokumentáltan az ordovíciumban kezdődik; az ópaleozoikum nagy részét metapelitek teszik ki (Földvári, 1952; Albani *et al.*, 1985; Lelkesné Felvári, 1978). A Polgárdi Mészkö, melyet a kőbánya jelentős hosszban feltár, devon korú, sekélytengeri képződésű, általában fehér vagy világos színű, nagy tisztaságú mészkö. Csak helyenként és kismértékben dolomitosodott (Horváth & Ódor, 1989). A kalcitkristályok mérete erősen változó. Néhol az üledékes környezetre jellemző loferitek is jól megőrződtek, de metasomatikus és kontakt hatásokra durva márvánnyá történt átkristályosodása sem ritka (Kiss, 1951, 1954; Jantsky, 1966; Horváth & Ódor, 1989). Ebben a mészkö-márvány összletbe riolit- és andezittelérek nyomultak (Vendl, 1928; Kiss, 1951, 1954; Szilágyi, 1971; Harrach, 1980; Dunkl, 1983). A jelen munkában az andezittelérek és a környezetükben kialakult szkarnos ásványtársulás leírását adjuk közre.

2. A Szár-hegy andezittelérei

A kőfejtő számos ponton tárt fel szabálytalan alakú apofízákat, illetve 1–6 m széles andezittelékeket, amelyek közül a leghosszabb ÉK–DNY-i csapású. A felszín alatti előfordulásokat részben Kiss (1954) írta le a szabadbattyáni galenitbányából, részben öt mélyfúrás érte el (1. ábra), illetve helyzetüket mágneses mérések segítségével lehetett kimutatni (Horváth & Ódor, 1989).



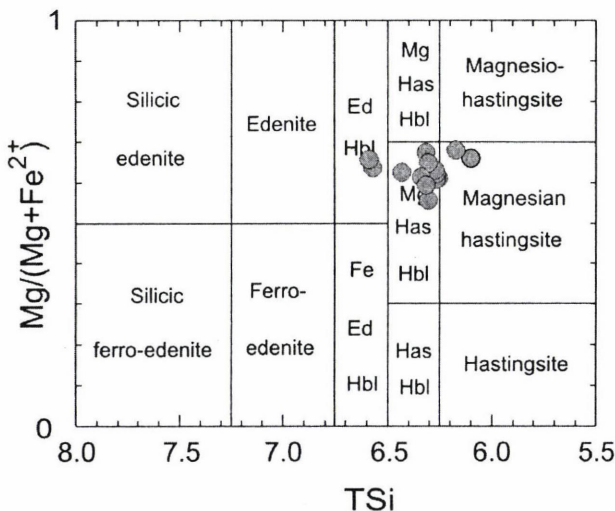
1. ábra. Az andezittelérek helyzete a Szár-hegy környezetében (Horváth & Ódor, 1989 alapján).

Fig. 1. The position of the andesite dykes around Szár Hill (after Horváth & Ódor, 1989).

2.1. Magmás bélyegek

Az andezit általában kéesszürke színű, a 3–5 mm-es méretet elérő porfíros elegyrészek jól felismerhetők benne. A földpát tejfehér, erősen átalakult, az amfibol gyakran mutat frissen csillanó hasadási lapokat. A vékonycsiszolati kép erős átalakultságról tanúskodik: a földpátkristályok lényegében szericitté alakult pszeudomorfózák, a magmás eredetű földpát csak szigetekskékben maradt meg. A plagioklász jelentősen nagyobb részarányban szerepelhetett, mint a káliföldpát, az összetétele a fenokristályok magjában savanyú labradorit–bázisos andezin, a külsőbb zónákban savanyú andezin.

Az andezit mafikus fenokristályai is erős átalakulást szenvedtek. A nagyobb mennyiségben megőrződött, enyhén zónás, a szélein rezorbeált, mikroszkóp alatt melegbarna színű amfibol zömmel Mg-hastingsites hornblendének sorolható be Leake (1978) amfibol nevezéktana alapján (2. ábra, I. táblázat). Az ortopiroxén-fenokristályok csak igen kis számú relikumban maradtak meg üdén. Összetételük az elektronmikroszondás vizsgálat alapján hipersztén (51–61% En). A klinopiroxén a fenti komponenseknél kisebb részarányban szerepel, kevésbé átalakult, összetétele augitos, többnyire csoportokban fordul elő (3. ábra, II. táblázat). Néhol a több augit- és hiperszténkristály alkotta kumulátum belső szövete mirmekitszerű.



2. ábra. Az andezit magmás eredetű amfibol-fenokristályainak kémiai összetétele.

Fig. 2. Mineral chemistry of the amphibole phenocrysts of the andesite.

2.2. Propilitesedés

Az intenzív hidrotermás hatásokra a színes elegyrészek fő tömege másodlagos ásványokká alakult. A szkarnos zónáktól távolabb eső részeken az andezit propilites jellegű átalakulása albit, aktinolit–tremolit, epidot, klinozoisit, klorit, nontronit, biotit, glaukonit és karbonát összetételű pszeudomorfózákat hozott létre a színes elegyrészekből. Az alapanyag csak kis foltokban őrizte meg magmás, mikroholokristályos szövetét. Eredetileg földpát, barnaamfibol és kevés piroxén alkotta, de általában teljesen elvesztette magmás bélyegeit. Főleg kvarcból, másodlagos albitból, szericitből, kloritból és hedenbergitből áll, gyakran tartalmaz pirithintést.

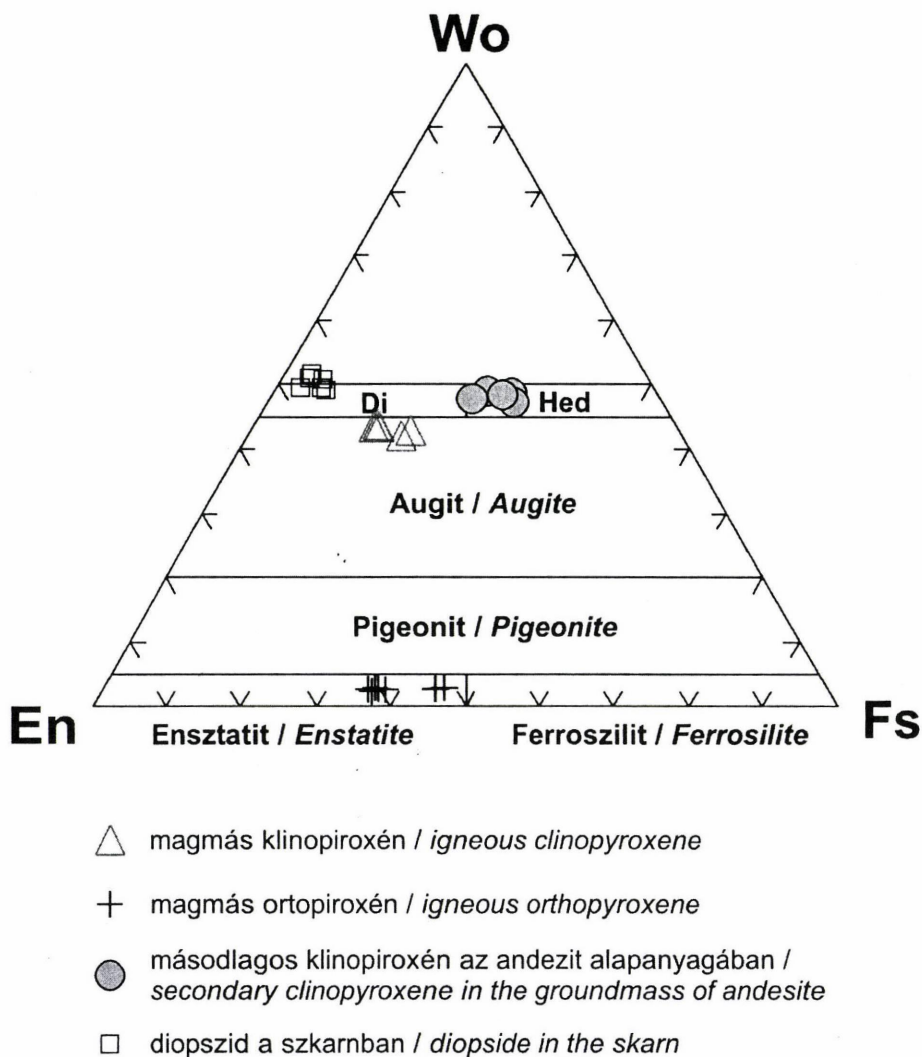
I. táblázat. Az andezittelérek amfibol-fenokristályainak jellemző kémiai összetétele (11 elektronmikroszkopos elemzés alapján).

Table I. Chemical composition of the amphibole phenocrysts of the andesite dykes (based on 11 EMP analyses).

	Min.	Max.	Átlag/Average
SiO ₂	40,99	46,22	42,66
TiO ₂	0,85	2,67	1,86
Al ₂ O ₃	5,74	11,51	10,09
FeO	14,75	17,59	16,48
MnO	0,07	0,18	0,13
MgO	10,28	11,94	11,00
CaO	10,33	11,13	10,72
Na ₂ O	1,39	2,92	2,43
K ₂ O	0,58	1,07	0,81
F	0,00	0,42	0,04
Cl	0,05	0,22	0,10
Σ	95,00	99,21	96,31
Si	6,26	7,00	6,43
Al	1,00	1,74	1,57
Al ^{VI}	0,03	0,36	0,22
Fe ³⁺	0,33	0,85	0,59
Ti	0,10	0,31	0,21
Mg	2,30	2,70	2,47
Fe ²⁺	1,27	1,85	1,48
Mn	0,01	0,02	0,02
Ca	1,69	1,79	1,73
Na ^B	0,21	0,31	0,27
Na ^A	0,14	0,61	0,44
K	0,11	0,20	0,16

2.3. Zárványok

Az andezittelérek (különösen a felső bányaszint északkeleti oldalán feltárt hosszú fal) változatos összetételű zárványokat tartalmaznak. Ezeknek különleges jelentőségük, hogy tükrözik a balatonfői kristályos rögök mélybeli közettani összetételét, és így annak szerkezetére is utalhatnak.



3. ábra. Az andezit magmás és a kontakt képződmények másodlagos piroxénjeinek összetétele.

Fig. 3. Mineral chemistry of the magmatic and secondary pyroxenes of the andesite and the contact rocks, respectively.

Mikrodiorit

Gyakori zárványtípus. Mérete néhány mm-től akár 15 cm-ig is terjedhet. Holokristályos–mikroholokristályos szövetű, cm-t meghaladó hosszúságú amfiboloszlopokból, hipidiomorf plagioklászokból, valamint kevés piroxénból és titanitból áll. Jellemző, hogy mindig üdőbb, mint a befoglaló andezit. Ez az ásványegyüttes ugyanis határozottan kevésbé érzékeny a hidrotermás átalakító hatásokra. Genetikailag az andezittelérekhez rendelhető, egy korábbi intrúziós fázis feltöredezett fragmentumainak tartjuk.

II. táblázat. A magmás és metasomatikus eredetű piroxének kémiai összetétele. Eletronmikroszondás elemzések, a zárójelben levő értékek a mérések számát jelölik.

Table II. Chemical composition of magmatic and metasomatic pyroxenes. EMP analyses, numbers in brackets indicate the number of measurements.

	Ortopiroxén fenokristály (12) <i>Orthopyroxene phenocrysts</i>			Klinopiroxén fenokristály (6) <i>Clinopyroxene phenocrysts</i>			Másodlagos klinopiroxén (5) <i>Secondary clinopyroxene</i>			Diopszid a szkarban (6) <i>Diopside in the skarn</i>		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
SiO ₂	49,51	51,82	51,04	51,01	53,68	52,48	47,87	50,56	49,46	52,28	54,59	53,67
TiO ₂	0,04	0,23	0,11	0,00	0,45	0,11	0,06	0,26	0,12	0,00	0,12	0,05
Al ₂ O ₃	0,73	1,78	1,22	0,20	1,97	0,67	0,82	1,32	1,09	0,39	2,85	1,46
FeO	22,72	28,30	25,71	9,93	12,83	10,88	15,97	19,60	18,29	1,94	2,74	2,31
MnO	0,19	0,39	0,27	0,08	0,41	0,15	0,08	0,21	0,14	0,00	0,07	0,02
MgO	17,64	21,52	19,47	12,15	14,18	13,46	6,24	8,55	6,95	15,93	17,24	16,76
CaO	1,15	1,34	1,25	19,84	21,15	20,78	21,86	22,54	22,23	25,41	25,72	25,58
Na ₂ O	0,00	0,05	0,02	0,30	0,74	0,51	0,36	0,43	0,40	0,00	0,08	0,02
Σ	97,63	100,14	99,11	98,52	99,98	99,06	97,75	99,26	98,70	99,54	100,49	99,89
Si	1,93	1,97	1,95	1,95	2,00	1,98	1,92	1,97	1,95	1,91	1,99	1,95
Al	0,03	0,07	0,05	0,00	0,05	0,02	0,03	0,06	0,04	0,02	0,09	0,05
Al ^{VI}	0,00	0,03	0,02	0,00	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,04	0,02
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,00	0,10	0,04	0,01	0,10	0,04	0,03	0,13	0,07	0,00	0,00	0,00
Mg	0,97	1,23	1,11	0,69	0,79	0,76	0,37	0,50	0,41	0,87	0,93	0,91
Fe ²⁺	0,68	0,90	0,78	0,26	0,37	0,30	0,45	0,60	0,54	0,05	0,09	0,07
Mn	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	0,05	0,05	0,05	0,81	0,86	0,84	0,93	0,95	0,94	0,99	1,01	1,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00
En	51,23	60,66	55,68	35,70	40,56	38,90	18,75	25,28	20,87	44,42	46,91	45,97
Wo	2,38	2,77	2,58	42,18	43,70	43,17	47,24	48,70	48,03	49,98	51,25	50,43
Fs	36,64	46,25	41,74	16,08	21,33	17,93	26,84	33,24	31,10	3,00	4,33	3,60

Metaszomatizált agyagpala

Az előbbinél kisebb méretű, de szintén gyakori zárványtípus. Nem állapítható meg, hogy a darabjai üledékes, anchi- vagy epizónás metamorf összletből származnak, mert teljesen átkristályosodott; a zárványok belsejét magmás hatásra képződött üde, orientálatlanul elhelyezkedő, vörösbarna biotittáblák és savanyú plagioklász alkotja, előfordul zoisit is. Ezek a zárványok gazdagok sávosan elhelyezkedő opakásványokban. A szegély finom szemcsés szericitből, kloritból és albitből áll.

Kvarcit

Jellegzetes metamorf kvarcit, kevés muszkovittal és albittal. Valószínűleg a Balatonfőkajári Kvarcfillit sorozatból származik (Lelkesné Felvári, 1978).

Szkarn

Finom szemcsés barnásfehér mészkő, illetve finom szemcsés márvány, amely kvarcot és 5 mm-t meghaladó méretű, saját alakú, valamint vázkristályos andraditkristályokat tartalmaz. A mészkő különbözik a kőbányában feltárt Polgárdi Mészkő változataitól és a tiszta kalcit + kvarc + andradit ásványegyüttes sem ismert a felszínről. Ez a zárványtípus valószínűleg egy korábbi, az andezitteléreket megelőző intrúziós fázis által létrehozott, mélyebben elhelyezkedő szkarnból származik.

Vörös tűzkő (?)

Vörös–téglavörös színű üledékes, illetve biogén eredetű kovakőzetre emlékeztető kőzet-zárványok. Kizárólag kvarcból és egy kevés vas-oxidos pigmentből áll. A kvarcsejtek határa diffúz, a kristálméret 5 és 30 μm között változik, szabálytalan, felhős foltokban. Valószínűleg a fekvő paleozoós sorozatból származik, bár abban vörös tűzkövet nem említenek. Elképzelhető, hogy a szilur korú, eredetileg fekete lidit (Oravecz, 1964) nyert vörös színt magmás hatásra, részleges átkristályosodással és oxidációval.

2.4. A magmatizmus jellege, kora

A különböző előfordulásokon végzett kőzetkémiai elemzések egyöntetűen erős átalakultságot tükröznek, még a kékesszürke, porfíros szövetű, kemény, szabad szemmel üdének tűnő andezitminták is magas illótartalommal jellemezhetők. Így a kémiai elemzések (III. táblázat, 4. ábra) és a ritkaföldfém-eloszlási kép (Dunkl, 1983) alapján csak a trachitosba hajló andezites karakter és a mészkálai jelleg állapítható meg teljes bizonyossággal.

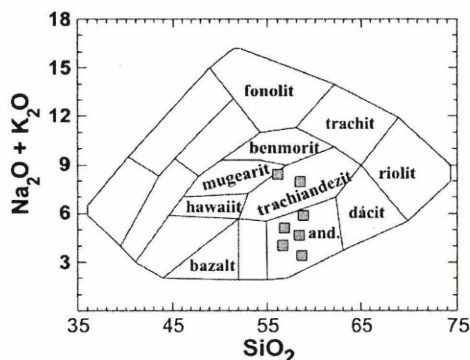
A polgárdi andezitteléreket általában a Dunántúli-középhegység eocén andezites vulkanizmusához kötötték (Rónai & Szentés, 1972; Dunkl, 1983), mert a Velencei-hegységben és a Balaton-vonal mentén délebbre is számos paleogén korú andezit kitörési centrum ismert, valamint a Bakonyban elterjedtek az eocén tufás képződmények (Schréter & Mauritz, 1952; Székyné Fux & Barabás, 1953; Dunkl, 1990a). A Balogh Kadosa által végzett K/Ar és a hasadványnyom-kormeghatározások azonban mezozoós kort tükröznek (Horváth & Ódor, 1989; Dunkl, 1990b). Az andezit mikrodioritzárvényaiból készült amfibolszeparátumok 240 ± 10 és 231 ± 13 millió éves, a kevésbé jó argonmegtartó képességű földpát 179,8 millió éves K/Ar kort adott. Az apatit hasadványnyomkorok a késő krétába esnek, és a Szár-hegyet alkotó paleozoós–mezozoós képződmények tektonikai hatásra bekövetkezett kiemelkedésének idejét jelzik.

Ezek az adatok ugyan nem perdöntöek a képződési kort illetően, de az argonkorokkal együtt kizárják a paleogén magmatizmushoz fűződő rokonságot. A fentiek alapján az andezittelérek a középső triász magmás működéshez soroljuk. Ennek során nagy tömegű (jelentős részben andezites és trachitos összetételű) magmatit jött létre a Dinaridákban, a Déli- valamint Keleti-Alpokban, továbbá a Bükkben és a Bakonyban is ismertek a vulkanizmus nyomai, főleg tufarétegek és vulkanogén konglomerátum formájában (Pamić, 1984; Castellarin *et al.*, 1988; Zöldföldi, 1998; Balogh, 1981; Szabó & Ravasz, 1970; Cros & Szabó, 1984; Horváth & Tari, 1987).

III. táblázat. Az andezittelérek közetkémiai elemzése. A magas illótartalom és a helyenként megnövekedett kalcium-oxid mennyisége jelzi az átalakulás és Ca-infiltráció előrehaladott fokát, és így az elemzések közetgenetikai célra alig használhatóak. And: andezit; md: mikrodiorit endogén zárvány; endo: Ca-szilikátokban gazdag, endoszkarn jellegű, erősen átalakult andezit.

Table III. Chemical composition of the andesite dykes. The enrichment of LOI and Ca indicate strong alteration, thus, these data bear weak petrogenetic meaning. And: andesite; md: microdiorite inclusion; endo: Ca-silicate containing andesite with endoskarn character.

	Kiss (1954) Ércbánya, Szabadb. and. and.		Harrach (1980) P-1 / 104 m P-1 / 212.5 m and. and.		PM and.	Kh-8 / 21.6 m md.	5-6/8 md.	Kh-8 / 21.8m endo.
SiO ₂	56,74	58,54	56,59	58,71	58,09	56,00	58,30	49,50
TiO ₂	0,75	0,72	0,29	0,33	0,05	1,44	0,71	0,92
Al ₂ O ₃	18,03	18,91	13,97	14,19	17,64	15,50	13,70	14,30
Fe ₂ O ₃	1,51	0,77	2,46	2,15	0,11	4,97	2,57	1,89
FeO	4,13	3,45	2,45	1,49	5,20	1,25	3,05	4,47
MnO	0,07	0,08	0,15	0,14	0,13	0,05	0,10	0,11
MgO	1,80	1,68	2,12	2,12	2,70	1,86	3,68	3,62
CaO	3,88	3,24	4,64	5,00	4,51	5,77	6,73	17,60
Na ₂ O	1,77	0,09	1,09	3,23	2,16	3,63	3,74	2,37
K ₂ O	3,33	3,33	2,92	2,65	2,40	4,76	4,23	0,33
P ₂ O ₅	0,09	0,21	0,12	0,10	0,05	0,09	0,04	0,22
H ₂ O	2,97	4,19	0,87	0,90	0,84	2,09	0,95	3,17
CO ₂	3,02	2,66	4,46	3,54	3,50	0,69	1,20	0,37
Σ	98,09	97,87	92,13	94,55	97,38	98,10	99,00	98,87



4. ábra. A polgárdi andezittelérek kőzetkémiai osztályozása az alkáli-oxid– SiO_2 diagram alapján.

Fig. 4. Chemical classification of the andesite dykes of the Szár Hill according to the SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diagram.

3. Az andezit kontaktusa, szkarnos képződmények

Az andezit és a mészkő határán általában egy 5–40 cm vastag, Ca-szilikátokból, karbonátból és SiO_2 -változatokból álló, szinte mindig zónákra tagolódó szkarnos sáv jött létre (Dunkl, 1983; Horváth és Ódor, 1989). A kalcium-szilikát-ásványok krisztallográfiai leírását Németh (2001) és Dódon *et al.* (2003) adta közre. Említést érdemel, hogy egyes apofízákban az andezit/mészkő kontaktus rendkívül éles, semminemű ásványképződés nem figyelhető meg. A jelenség magyarázatára két lehetőség kínálkozik. (1) A mész-szilikátos ásványosodást létrehozó fluidumok erősen „csatornázottan” mozogtak, és azokon a helyeken, ahol a permeabilitás nem tette lehetővé, nem történt elemvándorlás és reakció. (2) Az andezit benyomulása több fázisban történt. Egy késői telérgeneráció csak a fluidumok felszabadulása után képződött, és így az előfordulások egy kisebb részénél csak „száraz”, lényegében reakciómentes kontaktus jöhetett létre. Ez a kérdés a geokronológiai adatok alapján nem dönthető el, a jelenség térbeli elrendeződése alapján az első lehetőséget tartjuk valószínűbbnek.

3.1. Endoszkarn

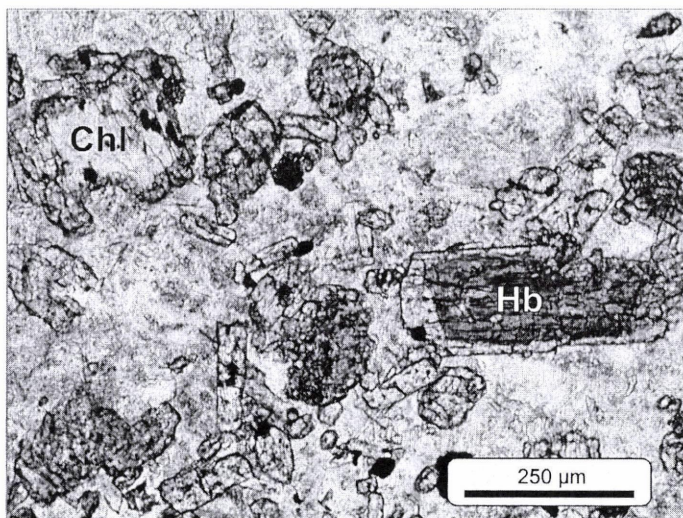
Hintett-eres szkarn az andezitben

Az andezit egész tömegét érintő, fent említett, közösleges propilites átalakulás mellett a mész-szilikát-ásványok finom hintésként, foltokban és erek mentén történő megjelenése a mészkővel történt kontaktus során bekövetkezett Ca-infiltráció hatására jött létre. Az andezit/mészkő kontaktustól 10–50 cm távolságig behatoló Ca-szilikát-erek 2–5 mm szélesek, a szigetszerű Ca-szilikát-csomók 1–2 cm átmérőjűek. E fészkek szabad szemmel nem ismerhetők fel minden esetben, csak a vékonycsiszolati kép mutatja, hogy az andezit szövetének megőrződése mellett az anyaga helyenként szinte teljesen Ca-szilikáttá alakult. Így az andezit és az endoszkarn elhatárolása nem egyértelmű.

A *klinopiroxén* elsórtan, apró, ~100–150 μm -es, zöld, a széle felé sötétedő kristályokat alkot az alapanyagban, illetve 20–50 μm vastagságú bevonatot képez a mafikus fenokristályokon, vagy azok pszeudomorfózáin (5. ábra). Az optikai kioltás enyhén zónás, az elektronmikroszkóppal meghatározott összetétel a Mg-hedenbergit mezőre esik (3. ábra). Az ásvány genetikája nem teljesen egyértelmű, a magmás kiválást sem zárhatjuk ki teljesen. Azonban a szöveti bélyegek (előfordul, hogy magmás klinopiroxén

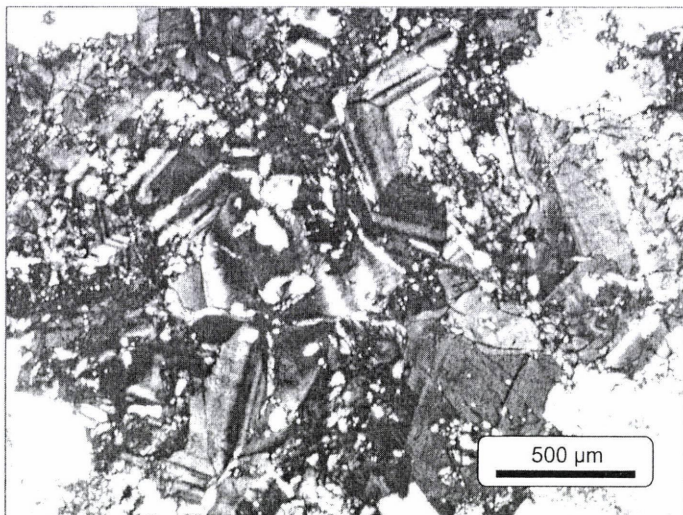
5. ábra. Másodlagos klinopiroxén az andezit alapanyagában (vékonycsiszolati kép, 1N). A piroxén 20–50 μm hosszú, nyúlt kristályokat alkot, illetve bevonja a mafikus, magmás eredetű ásványokat (Hb), illetve azok pszeudomorfózáit (Chl).

Fig. 5. Secondary clinopyroxene in the matrix of the andesite (thin section, 1N). It forms elongated crystals of 20 to 50 μm in length or overgrowths on the mafic minerals (Hb) or on their pseudomorphs (Chl).



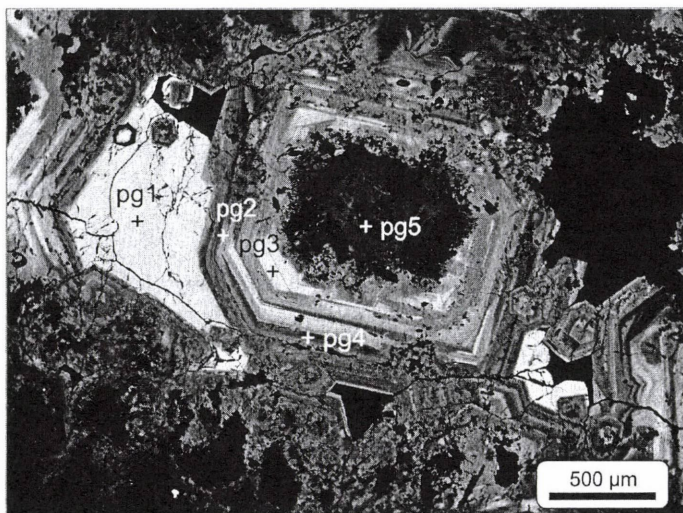
6. ábra. Anizotróp övek a gránátban; az interferenciaszín eléri a világosszürkét (vékonycsiszolati kép, keresztezett nikolok).

Fig. 6. Optically anisotropic zones in the garnet crystals, the interference colour reaches the light grey (thin section, crossed nicols).



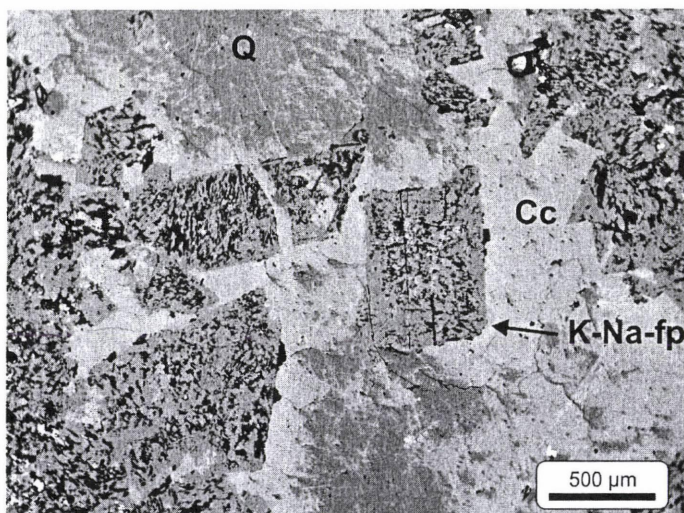
magvú aktinolit vagy klorit anyagú pszeudomorfózáat burkol be) és az általános Ca-szilikát-képződés alapján másodlagosnak tartjuk, a szilárd fázisú átkristályosodáshoz soroljuk.

A *prehnit* gyakori másodlagos ásvány, szintelen, izometrikus vagy nyúlt, kévésen, sugarasan elhelyezkedő, mozaikos kioltású kristályai az andezit alapanyagában alkotnak élesen le nem határolódó foltokat, átitatásokat. Az alapanyagot teljesen ki is szoríthatja, de előfordul a színes elegyrészek pszeudomorfózáinak kitöltéseként is, valamint ereket alkotva. Gyakran képez néhány mm széles sávot az andezitben, a teljes szkarnná alakulás frontjával párhuzamosan, annak közelében.



7. ábra. Az andezitben futó, kalcium-gránát-kristályokkal kitöltött ér visszashórt elektronképe. Az összetételbeli övesség markánsan jelentkezik, és megfigyelhető a kristályok sajátalakúsága is (a kémiai összetételt lásd a IV. táblázatban).

Fig. 7. BSE image of a calcium garnet vein in the andesite. The compositional zoning and the euhedral form are well visible (for the chemical composition see Table IV).



8. ábra. Az andezitben fészkekben, erekben fenn-nőtt földpátkristályok visszashórt elektronképe. A káli- és nátronföldpát fázisok peritizszerűen elkülönülnek. Az ér kitöltése kalcit és kvarc. K-Na-fp: káli- és nátronföldpát, Cc: kalcit, Q: kvarc.

Fig. 8. BSE image of euhedral feldspar crystals from veins and nests in andesite. The K- and Na-feldspar phases form a perthite-like separation. The filling of the vein is composed of calcite and quartz. K-Na-fp: K- and Na-feldspar, Cc: calcite, Q: quartz.

A **gránát** kis mennyiségben szerepel, de szabad szemmel is látható, kb. 2 mm-es méretű, barna csomókat alkot. A saját alakú vagy xenomorf kristályok gyakran körül fogják az andezit más ásványait. A kristályok belsejében az élesen, tisztán jelentkező, párhuzamos növekedési vonalak rendszere arra utal, hogy a gránát a képződésekor szabad üregeket, fenn-nőtt kristályként tölthette ki. Jellemző a növekedési vonalaként és a szektoronként jelentkező anizotrópia (6. ábra). Összetétele zónásan változik (7. ábra) 17–99% andradittartalom és 1–74% grosszulártartalom között (IV. táblázat). A kettőstörés és az elektronmikroszkopos elemzések (Fe_2O_3 -mal számított) 99% körüli oxidösszege hidrogránát összetevőre utal.

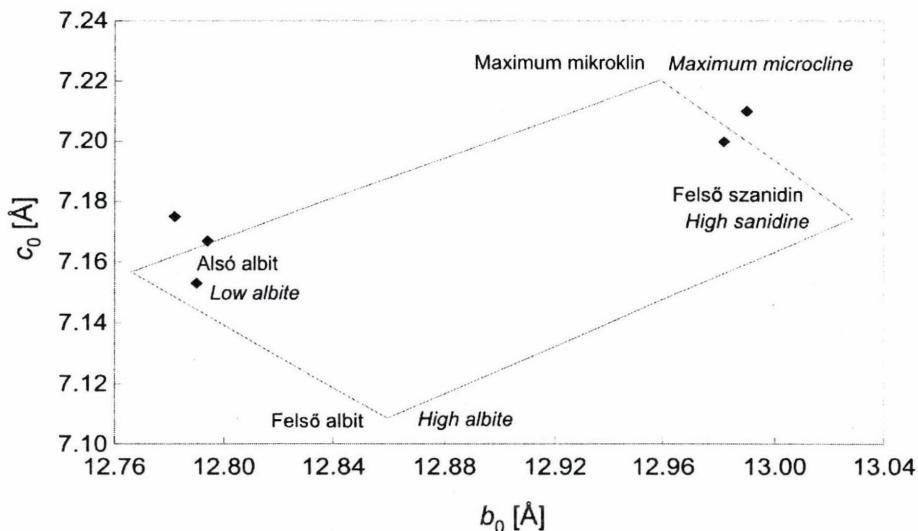
IV. táblázat. A gránatkristályok kémiai összetétele elektronmikroszondás elemzések)
Table IV. Chemical composition of garnet crystals. (EMP analyses)

Ábra — Figure:	Korai fázis Early generation	Zónás gránát az andezitben futó szkarnos érben Zoned garnet in the skarn veins of the andesite					Homogén gránatkristályok a vezuvianszkarnban Homogeneous garnet crystals in the vesuvianite skarn						
	28 GinDi6	7					G1			G2			
		pg1	pg2	pg3	pg4	pg5	G1-1	G1-2	G1-3	G2-1	G2-2	G2-3	G2-4
Elemzési adatok — Analytical data													
SiO ₂	37,37	36,19	38,05	35,98	38,36	37,91	37,03	37,61	38,02	35,39	35,54	35,35	36,38
TiO ₂	0,19	0,02	0,32	0,04	0,35	1,66	0,38	0,47	0,45	0,00	0,07	0,02	0,33
Al ₂ O ₃	9,39	0,23	10,11	0,36	11,99	16,81	9,55	9,35	11,64	0,06	0,09	0,04	6,12
FeO	15,12	27,74	15,88	27,60	13,34	5,96	15,02	14,84	12,56	27,20	27,28	27,51	19,55
MnO	0,08	0,15	0,17	0,19	0,21	0,07	0,06	0,08	0,16	0,08	0,09	0,09	0,19
MgO	0,20	0,03	0,13	0,08	0,25	0,67	0,29	0,32	0,19	0,10	0,07	0,09	0,05
CaO	34,81	33,02	34,15	32,02	34,26	35,65	34,65	34,60	34,86	33,03	32,78	33,00	34,17
Σ:	97,16	97,38	98,80	96,27	98,75	98,73	96,98	97,26	97,87	95,86	95,92	96,09	96,79
Kationszámok 12 oxigénre számolva — Cation numbers based on 12 oxygens													
Si	3,023	3,040	3,032	3,059	3,034	2,939	3,000	3,039	3,031	3,018	3,031	3,009	2,999
^{IV} Al						0,061							0,001
^{VI} Al	0,895	0,023	0,949	0,036	1,118	1,474	0,912	0,890	1,094	0,006	0,009	0,004	0,594
Fe ³⁺	1,023	1,893	0,948	1,839	0,773	0,386	1,018	0,973	0,789	1,940	1,920	1,959	1,348
Ti	0,011	0,001	0,019	0,003	0,021	0,097	0,023	0,028	0,027		0,004	0,001	0,021
Mg	0,024	0,004	0,015	0,010	0,029	0,077	0,035	0,038	0,022	0,013	0,009	0,011	0,007
Fe ²⁺		0,056	0,110	0,123	0,109			0,029	0,049		0,026		
Mn	0,005	0,011	0,011	0,013	0,014	0,005	0,004	0,005	0,011	0,006	0,007	0,007	0,013
Ca	3,017	2,972	2,915	2,917	2,903	2,961	3,008	2,996	2,978	3,018	2,995	3,010	3,018
Gránát szélső tagok aránya (mol %) — Garnet end-members (mole %)													
Sch						6,4							0,1
Adr	53,3	98,8	50,0	98,1	40,9	16,9	52,7	52,2	41,9	99,7	99,5	99,8	69,3
Prp	0,8	0,1	0,5	0,3	1,0	2,7	1,2	1,4	0,8	0,3	0,3	0,2	0,2
Spe	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2	0,1	0,2	0,4		0,2		0,5
Grs	45,7	0,7	49,1	1,1	57,6	73,9	45,9	46,2	56,9				29,9

Az *epidot* szabad szemmel látható, sárga-piszkossárga színű csomókat alkot, a kristályok mérete eléri az 1–2 mm-t. Az egyik telér szélén 2–3 cm hosszúságú, 1–1,5 mm vastag epidottükből álló, sugaras-kévék epidothalmazokat fedezhettünk föl.

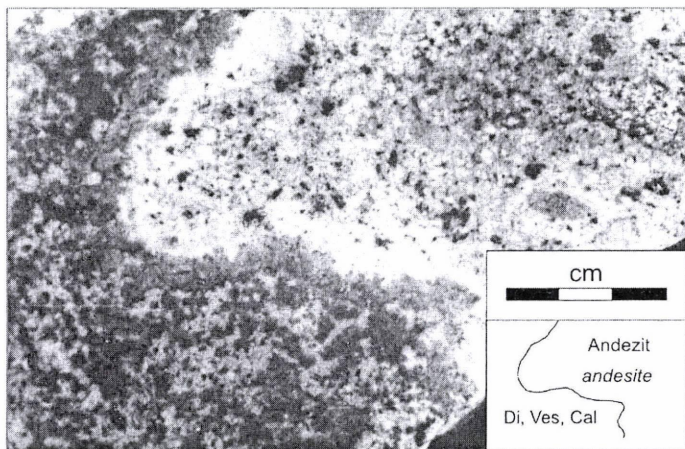
Alkáliföldpát-erek, -fészkek

A földpát (albit és káliföldpát egyaránt) másodlagos ásványként mindenhol elterjedt az andezittekben. Külön említését indokolja, hogy az endoszkarnhoz közel mennyisége felszaporodik, ereket, csomókat alkot, a szkarnnal genetikai összefüggésben van. Adulár jellegű, 1–2 mm-es, fenn-nőtt kristályai rózsaszínűek. Az erekben kalcit és prehnit települ rá. A fénymikroszkópos és az elektronmikroszkopos vizsgálatok alapján a földpát-kristályok albit és káliföldpát pertithez hasonlóan elrendezett doménjeiből állnak (8. ábra). A rendezettség fokát a röntgendiffrakciós felvételek segítségével, a reflexiók helyzete és a számított rácsparaméterek alapján határoztuk meg (9. ábra). Az elemi cella méretei alapján a káli- és nátronföldpát egyértelműen elkülönül. Mind az albit, mind a káliföldpát a jobban rendezett szerkezetek projekciós pontjai közelében helyezkednek el. Mivel alacsony hőmérsékleten keletkezett kristályokról van szó, a káli- és nátronföldpát fázisok hűlés során történt szételegyedése nem valószínű. Felvetődhet még, hogy a két-féle földpát doménjei egy időben, egymás mellett képződtek, valamint az, hogy a kálium utólag épült be. Ez utóbbi a legvalószínűbb, mivel a káliföldpát a külső zónákat és a szegélyeket alkotja, továbbá a káliföldpát „alapanyagban” egymástól elszigetelten elhelyezkedő albitmezőkben az ikerlemezrendszer folytatódik. Ez a jelenség egy albitképződést követő kálium-metaszomatózisra utal.



9. ábra. A fenn-nőtt földpátkristályok rácsparaméterei alacsony hőszintű káli- és nátronföldpátra utalnak (Stewart, 1974 alapján).

Fig. 9. The cell parameters of the euhedral feldspar crystals indicate a low temperature genesis (after Stewart, 1974).



10. ábra. Az andezit és a szkarn határa a Kh-8 fúrásban (jobboldalt andezit, baloldalt diopszidtartalmú vezuviánszkarn).

Fig. 10. Macro photograph of the border between the andesite and the skarn (to the right: andesite, to the left: diopside-containing vesuvianite skarn; Kh-8 borehole).

Vezuviánszkarn (tömeges, homogén endoszkarn)

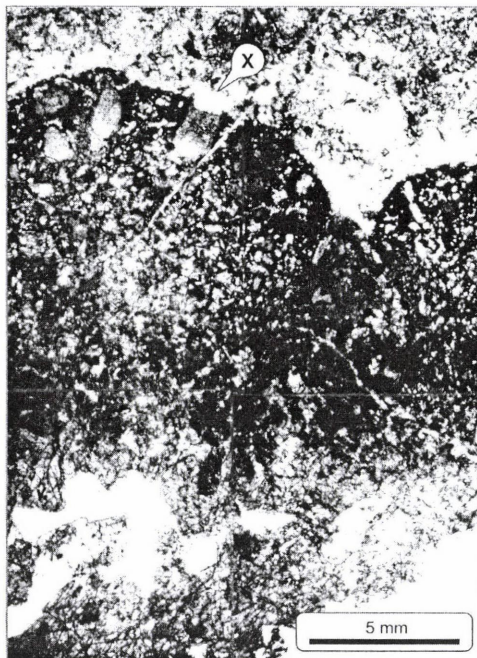
Az andezit és a magmás szövetet már nem tartalmazó szkarn között a határ általában éles (10. ábra). Az elválasztó sáv szabad szemmel egy 0,2–1 cm széles matt, piszkossárga–világosbarna, szemcsés, foltos átmeneti zóna. Mikroszkópban a határ az andezit felé éles határral előrenyomuló felhőalakú front képét mutatja (11. ábra). Az átalakulási front az andezit szövetének megfelelően tudott vándorolni; a diffúzió lassabb volt a mafikus fenokristályokban és azok pszeudomorfózáiban, mint az alapanyagban (lásd X a 11. ábrán). Az átmeneti sáv részben az andezit fenokristályainak sötét pszeudomorfózáiból, részben barna, zavaros, mikrokristályos vagy amorf foltokból áll. Ezek feltehetően a nagyobb méretű földpátkristályok helyén alakultak ki, erre utal az alakjuk a plagioklászok jellegzetes zónásságának helyenként megőrződött körvonalai. A zavaros foltok izotróp központi részének kémiai összetétele egy grosszulárban gazdag gránátra utal. Az átalakulás előrehaladtával e zavaros foltokon belül gömbhéjas átkristályosodás kezdődik, és e belső zónák mentén anomális, barna anizotrópiaszín észlelhető (12. ábra). Az anizotrópiaszín a vezuviánéhoz hasonló (lásd később), az elektronmikroszkóppal meghatározott összetétel is hasonló a jól kristályos vezuviánéhoz (13. ábra, IV. és V. táblázat). A gránát és a vezuvián vegyi összetétele igen hasonló, a fő komponensek alapján szinte megkülönböztethetetlen. A szkarnos genetikájú kalciumgránátok magnézium-tartalma azonban igen alacsony (0,26% és 0,08% MgO a G1 és G2 gránátban), míg a vezuviánban ez az érték 3 és 4% közötti (V. táblázat). A magnézium mellett a klór beépülése is jellemző a vezuviánra (14. ábra). E két összetevő folyamatos átmenetet jelez a kalciumgránát és a vezuvián között, ami alapján feltételezzük, hogy a zavaros fázis szegélye zömmel rendezetlenül elhelyezkedő, apró kristályos vezuviánból áll (az elektronmikroszkopos felvételek 2–5 μm -es szemcséket mutatnak).

A felhős-zavaros sáv után, a márvány felé haladva következik a barna vezuviánszkarn (10. ábra). Főként vezuviánból és kalcitból áll, de diopszid, kvarc és néha prehnit is szerepelhet benne. A vezuviánkristályok kétféle megjelenésben fordulnak elő: vagy elszórtan elhelyezkedő idiomorf, „izometrikus” szemcséket vagy sugaras halmozokat alkotnak.

11. ábra. Az andezit szkarnná történő átalakulásának vékonycsiszolati képe (félíg keresztezett nikolokkal, Kh-8 fúrás, 23,3 m). Az éles, felhő alakban előrehaladó átalakulási front előtt néhány mm szélességben az andezit erősen prehnitesedett (ez a felvétel felső részén, világos sávként jelentkezik). A finom szemcsés, prehnites alapanyagban az átalakulás könnyebben végbemegy, míg a fenokristályokban a front kissé „lemarad” (X).

A kép alsó részén a kőzet már csak idiomorf vezuviánból és kalcitból álló szkarn

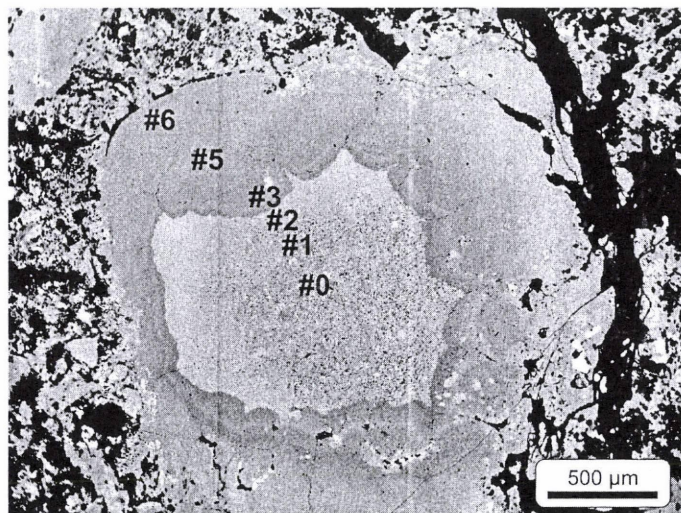
Fig. 11. Micrograph of the transitional zone between the andesite and the skarn (thin section, partly crossed nicols, Kh-8 borehole, 23.3 m). The andesite contains high amount of prehnite before the sharp, cloud-like transitional front (light zone on the uppermost part of the photograph). In this fine grained prehnitic matrix the transformation is faster than in the phenocrysts (X). The lower part of the picture shows the fully developed skarn composed of euhedral vesuvianite crystals and calcite.



12. ábra. Az andezit és a vezuviánszkarn közötti átmeneti öv zavaros, izotróp halmazainak a mészkő felől induló átkristályosodását nyíl jelöli (vékonycsiszolati kép, A: 1 N, B: keresztezett nikolok). Az átmeneti övben még jól felismerhetők a földpát-pszeuromorfózák (Fp), és egy kevésbé átalakult magmás klinopiroxén-fenokristály (Cpx). A kép bal alsó része már vezuvián-kalcit-kvarcszkarn.

Fig. 12. Recrystallization of the brown, milky patches of the transitional zone between the andesite and the vesuvianite skarn starts from the side of the limestone (arrow; thin section, A: 1N, B: crossed nicols). The pseudomorphs after feldspar (Fp) and a less transformed magmatic clinopyroxene phenocryst (Cpx) are preserved in the transitional zone. The lower left corner is already a vesuvianite-calcite-quartz skarn.





13. ábra. Az andezit és a vezuviánszkarn közötti átmeneti sáv barna, zavaros halmazának átkristályosodása (visszaszórt elektronkép). A finom szemcsés foltok többnyire a földpát-fenokristályok helyén alakultak ki. Az összetétel a központi részen a grosszuláéhoz közeli, a szélekről előrehaladó átkristályosodás mentén inkább az idiomorf vezuviánéhoz hasonló (V. táblázat).

Fig. 13. Recrystallization in the brown, milky transitional zone between the andesite and the vesuvianite skarn (BSE image). The fine-grained patches formed mainly from the feldspar phenocrysts. The chemical composition of the central zone is close to that of grossular, while in the marginal, recrystallized zone it is close to that of vesuvianite (Table V).

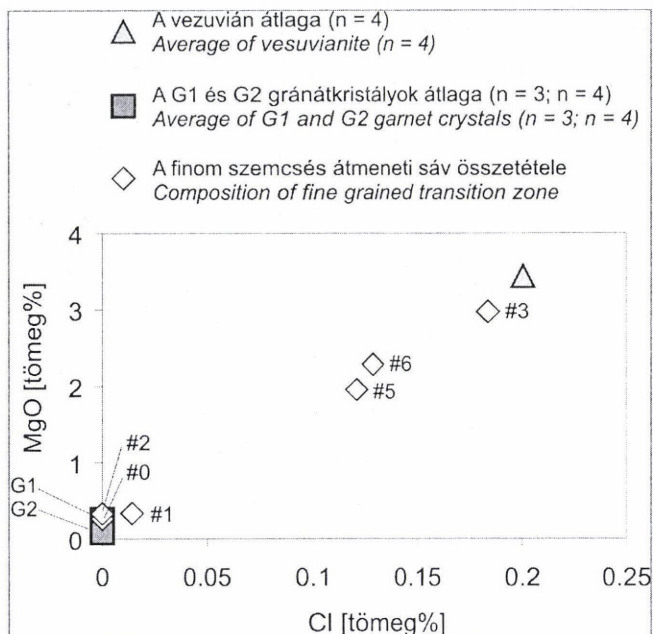
(1) Az általában 3–5 mm-es, de fészkekben maximum 3 cm-es méretű, „izometrikus”, csak kissé nyúlt kristályok belső része mindig zárványgazdag, a szegélye tiszta (15. ábra). Az interferenciaszín zónásan változik: anomális vöröses sötétbarna-világos szürkésbarna, néhol élénk lila (16. ábra). Ennek a szkarn típusnak a mátrixa szinte mindig tiszta, pátos kalcit, néha kevés koegzisztens kvarc fordul még elő.

(2) A sugaras vezuvián növekedési góca sokszor a kevésbé átalakult magmás elegyrészekben fejlődik ki (szericitesedett földpát). A kristályok hol oszlopos habitusúak, hol szálas-tűs kévéket alkotnak (17. ábra). Ezek a kristályok is mutatják az anomális interferenciaszínnek az „izometrikus” vezuviánnál leírt zónásságát. A sugaras vezuvián alkotta szkarnban az egyéb szilikátok részaránya jelentősen magasabb, mint az „izometrikus” vezuviánnal jellemezhető szkarnos fáciesben, a diopszid, gránát és a prehnit is gyakori, az utóbbi kiszorítja a kalcitot a alapanyagban.

A kalciumgránát alárendelt mennyiségben, hintetten fordul elő a vezuviánszkarnban, kristályai többnyire saját alakúak (18. ábra). A kristályok a szín és a kémiai összetétel alapján enyhén zónásak; a vastartalom először alacsony (G1), majd magasabb, és a szegélyen ismét alacsony (19. ábra és IV. táblázat). Az andezitben megfigyelhető, erek mentén kivált gránáthoz képest itt a kristályokon belüli zónásság sokkal enyhébben jelentkezik.

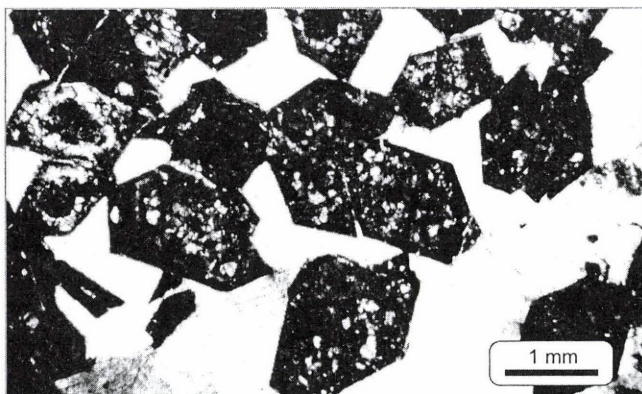
V. táblázat. A vezuviánkristályok kémiai összetétele (elektronmikroszondás elemzések)**Table V.** Chemical composition of vesuvianite crystals (EMP analyses)

Ábra — Figure:	Vezuvián az endoszkarnban <i>Vesuvianite of the endoskarn</i>				Felhőszerű átalakulási front az andezit és a vezuviánszkarn határán <i>Cloud-like transition front between the andesite and the vesuvianite skarn</i>					
	19				13					
	P-DVe1a	P-DVe2a	P-DVe3a	P-DVe4a	#0	#1	#2	#3	#5	#6
SiO ₂	36,45	36,02	35,51	35,85	38,82	39,12	38,95	36,21	37,57	37,38
Al ₂ O ₃	14,41	14,35	14,06	15,41	16,74	18,14	17,87	16,71	16,47	16,64
TiO ₂	0,95	0,82	1,52	0,84	0,18	0,16	0,09	0,22	0,32	0,43
FeO	4,71	4,67	4,65	4,17	6,78	4,85	5,14	3,50	4,81	4,31
MgO	2,99	3,65	3,73	3,37	0,26	0,33	0,29	2,97	1,95	2,28
CaO	35,42	35,11	34,90	35,27	35,71	35,84	35,73	35,35	35,73	35,64
MnO	0,03	0,02	0,00	0,00	0,05	0,11	0,07	0,06	0,07	0,06
F	1,33	0,62	0,31	0,39	0,00	0,00	0,00	0,84	0,37	0,40
Cl	0,27	0,23	0,17	0,14	0,00	0,01	0,00	0,18	0,12	0,13
-O	0,62	0,31	0,17	0,19				0,39	0,19	0,20
Σ:	95,94	95,21	94,68	95,25	98,54	98,57	98,15	95,66	97,21	97,08



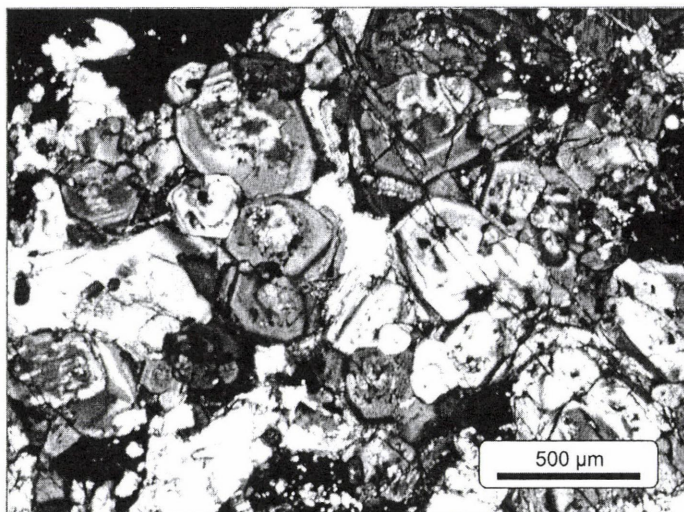
14. ábra. Az andezit és a kristályos vezuviánszkarn közötti finom kristályos átmeneti sáv összetételében a klór- és a magnéziumtartalom növekedése a grosszulárgazdag gránátból vezuviánná történő átkristályosodásra utal. (Az elemzési pontok a 13. ábrán szerepelnek.)

Fig. 14. The increasing Mg and Cl content indicate a recrystallization from grossular-rich garnet to vesuvianite in the fine-grained transitional material formed between the andesite and vesuvianite skarn. (Analysed points are shown in Fig. 13.)

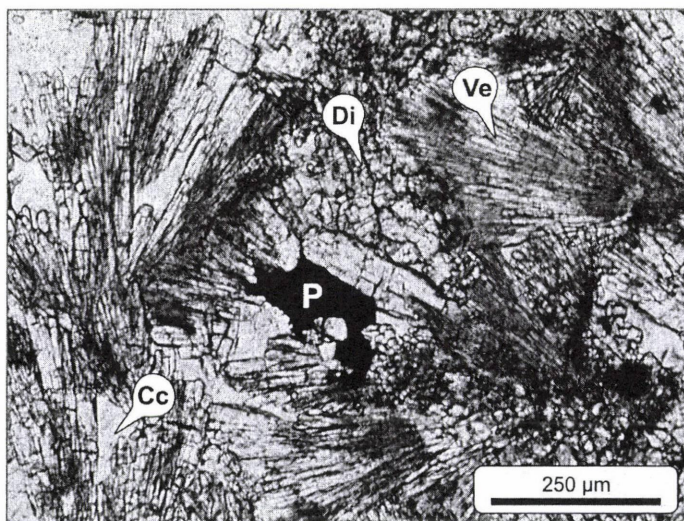


15. ábra. A vezuviánszkarn jellemző szöveti képe (vékonycsiszolati kép, keresztezett nikolok). A kristályok idiomorfak, enyhén nyúltak, belsejük általában zárványgazdag. Az alapanyag kalcitból és kisebb mennyiségben kvarcból áll.

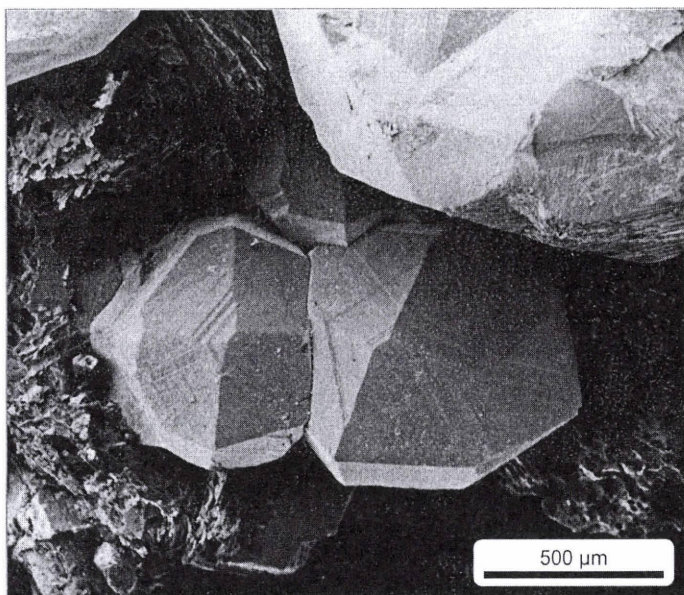
Fig. 15. Characteristic textural image of the vesuvianite skarn (thin section, crossed nicols). Vesuvianite crystals are euhedral with a slightly elongated habit, the cores are usually rich in inclusions. The matrix consists of calcite and subordinately quartz.



16. ábra. Vékonycsiszolatban a vezuviánkristályok színtelenek, de anomális anizotrópiaszínük zónásan változik (vékonycsiszolati felvétel, keresztezett nikolok).
Fig. 16. Vesuvianite crystals are colourless in thin sections, but their anomalous interference colour shows strong zoning (thin section, crossed nicols).

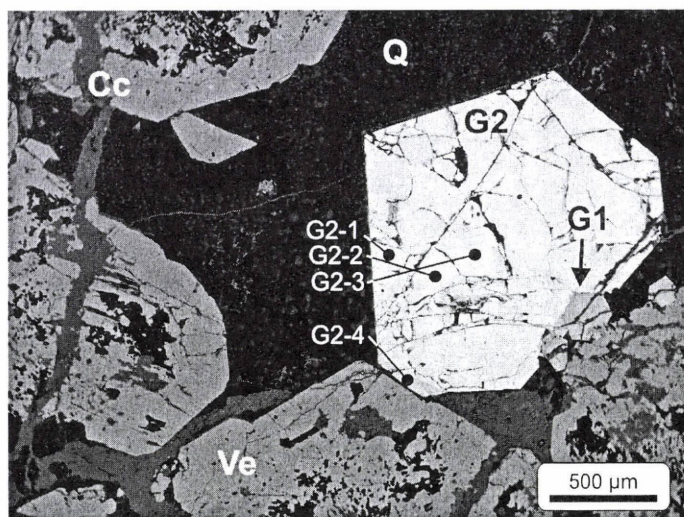


17. ábra. Sugaras elrendeződésű vezuviánkristályok, a mátrix kalcit és prehnit (vékonycsiszolati kép, 1N). Az opak ásvány késői kiválású, xenomorf pirit. Cc: kalcit, Di: diopszid, P: pirit, Ve: vezuvián.
Fig. 17. Radial vesuvianite crystals in calcite and prehnite matrix (thin section, 1N). The opaque mineral is an anhedral, late generation pyrite crystal. Cc: calcite, Di: diopside, P: pyrite, Ve: vesuvianite.



18. ábra. Saját alakú gránátkristályok az endoszkarnból – a kalcit alapanyagot ecetsavval kioldottuk (pásztázó elektronmikroszkópos felvétel).

Fig. 18. Euhedral garnet crystals of the endoskarn – the calcite matrix was dissolved by acetic acid (SEM micrograph).

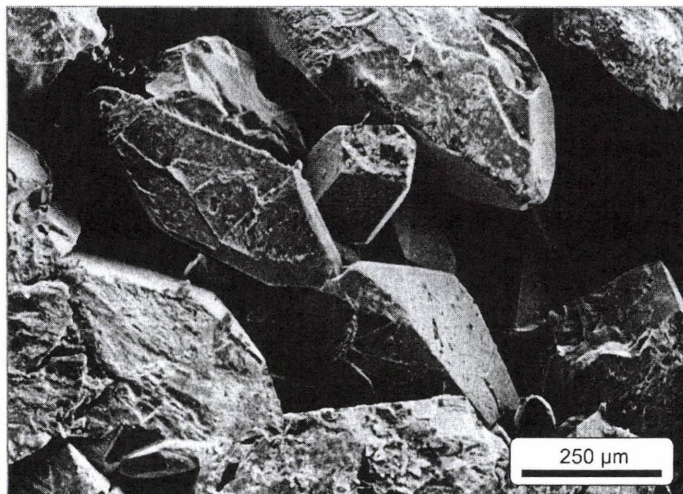


19. ábra. A gránát-vesuviánszkarn jellemző szöveti képe (visszaszórt elektronkép). Az apró G1 gránátkristályok Grs 46–57%, Adr 42–53% összetételűek, míg a későbbi G2 vasban gazdagabb (Grs 0–30%, Adr 69–100%). A vezuvián nem mutat összetételbeli zónásságot. Jellemző a késői generációs kalcitér (Cc). Q: kvarc, Ve: vezuvián.

Fig. 19.. Typical textural image of the garnet vesuvianite skarn (backscattered electron image). The small G1 garnet has a Grs 46 to 57%, Adr 42 to 53% composition, while the later generation is richer in iron (Grs 0-30%, Adr 69 to 100%). The late calcite vein (Cc) is a characteristic feature of the rock. Q: quartz, Ve: vesuvianite.

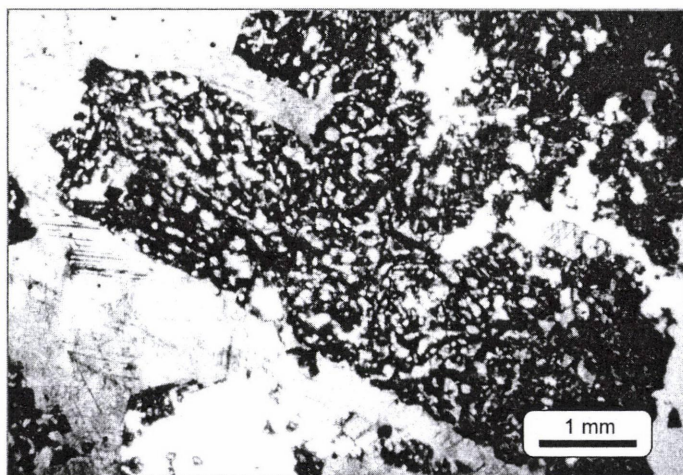
20. ábra. Az exoszkarn alkotó saját alakú diopszidkristályok pásztázó elektronmikroszkópos képe (a kalcit anyagú mátrixot ecetsavval kioldottuk).

Fig. 20. Euhedral diopside crystals of the exoskarn (the carbonate matrix dissolved in acetic acid - scanning electron micrograph).



21. ábra. A diopszid helyenként nagyméretű vázkristályokat alkot (vékonyecsiszlati kép, 1N, a mátrix kalcit).

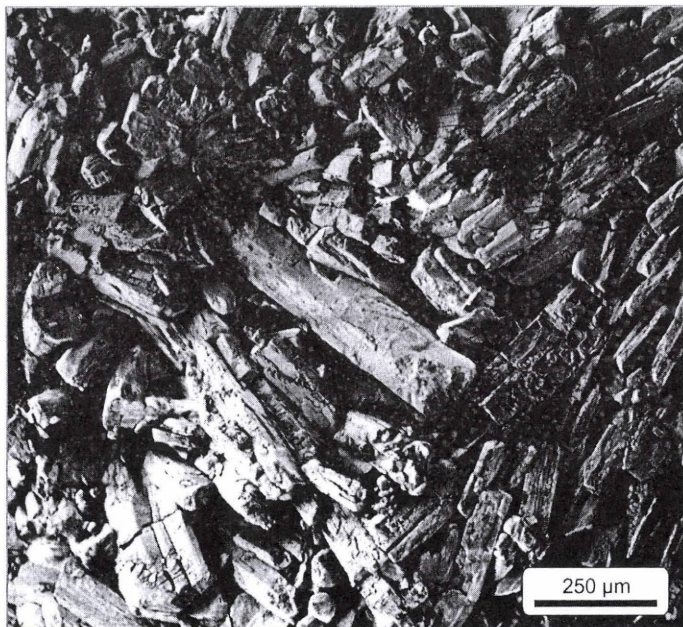
Fig. 21. The diopside forms in some nests of the skarn greater skeleton crystals (thin section, 1N, matrix: calcite).



3.2. Exoszkarn

Diopszidszkarn

Az andezittől a mészkő felé haladva a vezuviánszkarn zóna után következik, szélessége 0–10 cm. Világoszöld, változó kristályméretű, szabad szemmel sokszor homogénnek tűnő kőzet. Legtöbbször kizárólag diopszidból és kalcitból áll. A kisebb méretű diopszidkristályok saját alakúak (20. ábra), mikroszkópban színtelenek és homogének, de a kioltásuk néha enyhén zónás. A diopszid sokszor poikiloblasztos szöveti jelleggel nagyméretű (> cm) kalcitpátokban van elszórva. A nagyobb diopszidegyedek vázkristályokat alkotnak (21. ábra).

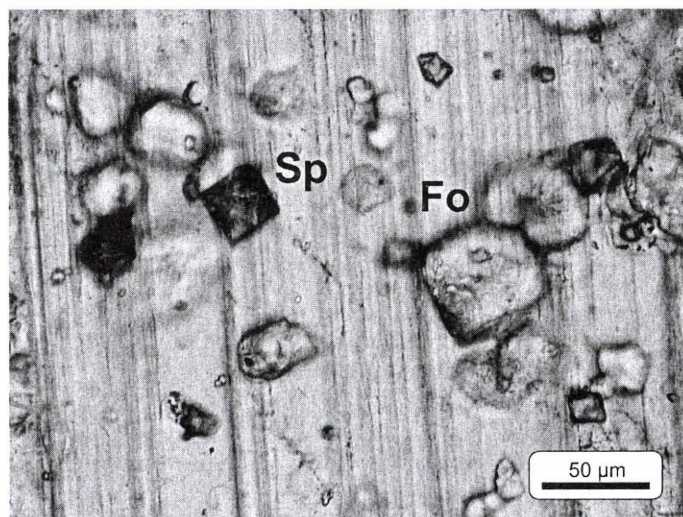


22. ábra. Sugaras wollastonitkristályok pásztázó elektronmikroszkópos képe. (A kalcit alapanyagot ecetsavval kioldottuk.)

Fig. 22. SEM micrograph of radial wollastonite crystals (the calcite matrix was dissolved by acetic acid).

Wollastonitszkarn

A szkarnos öv mészkő felőli utolsó tagja a wollastonitszkarn. Nem fejlődött ki mindenhol, tömegesen az alsó bányaszinten fordul elő, szélessége elérheti a 30 cm-t. Fehér, csillogó, sugaras, tús wollastonitból (22. ábra), kalcitból és kevés diopszidból áll. A márvány felé az elhatárolódása diffúz. A wollastonit gyakran elbomlott, finom szemcsés, zavaros anyaggá alakult, amelyben a karbonát dominál. Ennek egy része lehet, hogy aragonit.



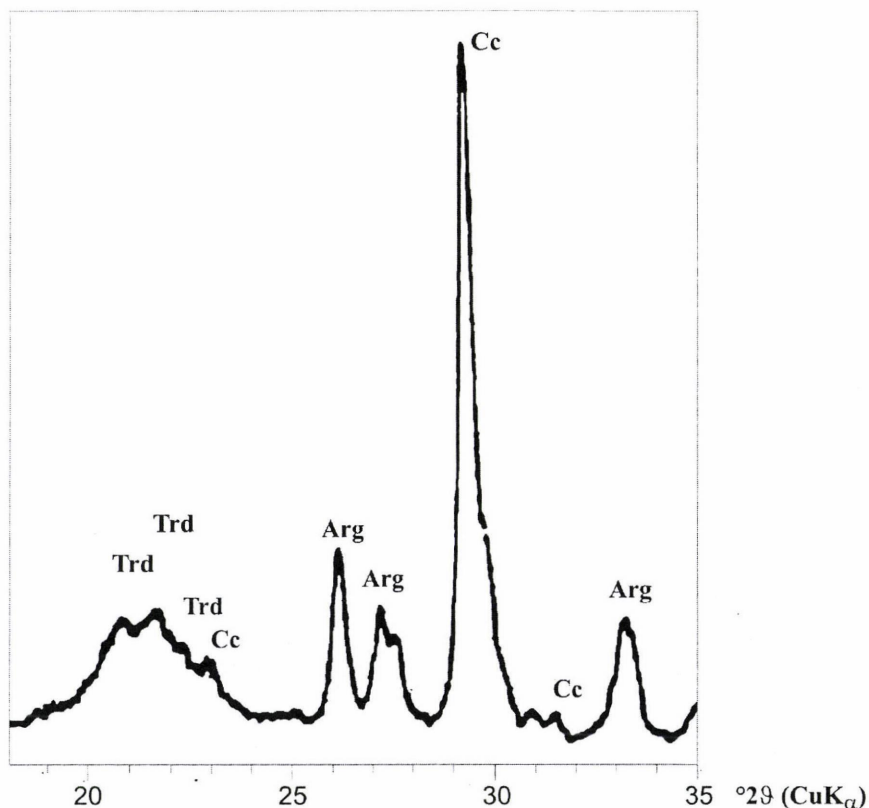
23. ábra. A predazzit jellegzetes mikroszkópi képe: spinell (Sp) és forsterit (Fo) kristályok durva pátos márványban.

Fig. 23. Characteristic microscopic image of the Polgárdi predazzite: spinel (Sp) and forsterite (Fo) in coarse grained marble.

3.3. Magnéziumszkarn

Predazsit (brucitosodott és serpentinisedett olivin-periklász-spinellszkarn)

Előfordulása nem kötődik közvetlenül az andezittelérekhez, Horváth & Ódor (1989) eredményei alapján egy kb. 400 m sugarú körben nyomozható. Szabad szemmel nem mindig különíthető el egyértelműen a márványtól. Foltosan, sávosan színezett, szürkés-zöldesfehér, törési felülete kissé porcelánszerű. A jellegzetességek a hidroxid- és szilikátásványok mennyiségének növekedésével egyre markánsabbakká válnak. Vékonycsiszolatban kalcitban elszórt, néhányszor 10 μm -es méretű forsterit-, diopszid-, spinell- és periklász-kristályok (?) láthatók (23. ábra). A spinell idiomorf oktaédereket alkot, a többi ásvány hipidiomorf-xenomorf. Az átalakulás mértéke jelentős, a forsterit sokszor teljesen serpentinásványokká alakult, illetve csak a kerekded pseudomorfózák közepén alkot szigetszerűen reliktumokat.

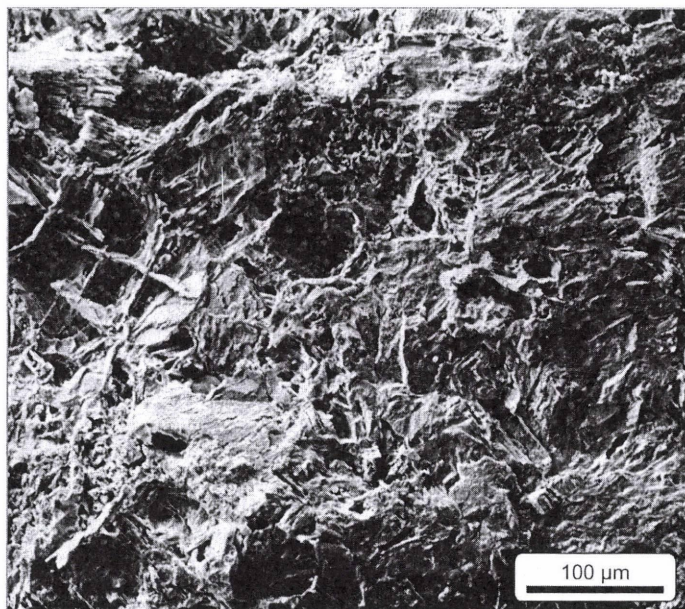


24. ábra. A világoszöld opálos anyag röntgen-pordiffraktogramja.

Trd: tridimit, Arg: aragonit, Cc: kalcit.

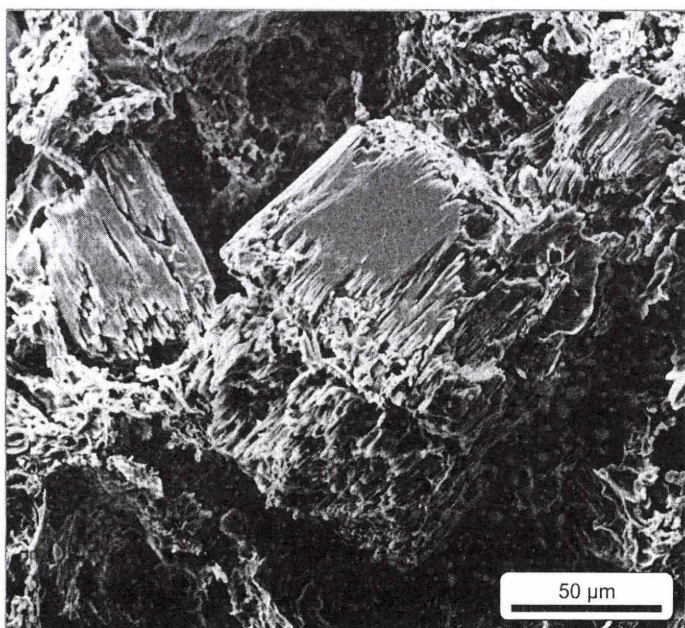
Fig. 24. X-ray powder diffraction pattern of the light green opaline material.

Trd: tridymite, Arg: aragonite, Cc: calcite.



25. ábra. Az opál ecetsavval maratott felülete (pásztázó elektronmikroszkópos felvétel). A kova-sav részben egykori sugaras-tűs kristályok (wollastonit?) után alkot pszeudomorfózát, de benyomul az elbomlott diopszid hasadási síkjai mentén is.

Fig. 25. Scanning electron micrograph of the surface of the opal (etched by acetic acid). A part of the silica forms pseudomorphs after radial acicular crystals (wollastonite?), but SiO_2 fillings along the cleavages of altered diopside are also frequent.



26. ábra. Korrodált, részlegesen átalakult diopszidkristályok az opálban (ecetsavval maratott felület, pásztázó elektronmikroszkópos felvétel).

Fig. 26. Corroded, partly altered diopside crystals in opal (scanning electron micrograph of the acetic acid etched surface of the opal).

3.4. Opál

A diopszidszkarn környezetében alakult ki, leginkább a felső bányaszinten, szélessége a 40 cm-t is eléri (Szilágyi, 1971). Az opál vékony erek formájában be is hatol a különböző

szkarnváltozatokba. Fénye opálos, néhol, a karbonátásványok felszaporodása helyén matt, porcelánszerű; világoszöld, sárgászöld, homogén vagy finoman erezett. Karbonátból, opálból és kevés apró szemcsés diopszidból áll, a röntgendiffrakciós vizsgálat rosszul kristályos tridimitet és aragonitot mutatott ki a kalcit mellett (24. ábra). Ez alapján opál-CT-nek nevezhetjük. Fénymikroszkópos vizsgálattal szövete zavaros, de a pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken felülete strukturált, a kivált kovasav a wollastonitszkarnra jellemző szövetet őrzött meg (25. ábra). Az átalakulási folyamatról tanúskodik a diopszidkristályok korróziója és folyamatos átalakulása (26. ábra).

4. Genetikai következtetések

4.1. Az ásványképződés viszonylagos egymásutánisága

Az egyes kiindulási kőzetekben létrejött ásványparagenezisek összefoglalását és a hozzátvetőleges kiválási sorrendet a 27. ábra mutatja be.

Kiindulási kőzet <i>Original lithology</i>		Andezit <i>Andesite</i>			Mésző <i>Limestone</i>	Dolomitos mésző <i>Dolomitic limestone</i>
Kontakt / metaszomatikus kőzet <i>Contact / metasomatic lithology</i>		Porfíros szövet megőrződött <i>Porphyritic texture preserved</i>	Ca-szilikát és földpát erek, fészkek <i>Ca-silicate & Fp veins and nests</i>	Tömeges endoszkarn <i>Massive endoskarn</i>	Tömeges exoszkarn <i>Massive exoskarn</i>	Szórt Mg-exoszkarn <i>Disseminated Mg-exoskarn</i>
Ásványképződési fázis <i>Phases of mineralisation</i>	magmás <i>magmatic</i>	Plg, Kfs, Hb, Opx, Cpx				
	propilit <i>propylitic</i>	Q, Tre, Chl Cc, Ms, Ep, Ab-Kfs Pl I				
	szkarnos <i>skarn</i>		Adr-Grs, Ep Ab-Kfs Prh Cc Pi II	Ve > Di Cc Prh Adr-Grs	Di >> Ve Cc Wo Fo	Fo Per
	késői hidrotermális <i>late hydrothermal</i>		Cc	Q Ms Opal-cr(Wo+Di?) Arg(Wo?)	Cc(Wo)	Brc(Per) Ser(Fo)

27. ábra. Az andezitből és a karbonátos kőzetekből létrejött kontakt képződmények ásványtársulásai az egyes fázisok hozzátvetőleges képződési sorrendjével (lefelé fiatalodik).

Az ásványnév-rövidítések a VI. táblázatban találhatók.

Fig. 27. Typical mineral association of the contact formations. The arrangement represents the sequence of the phases of mineralisation (the oldest is the topmost). The abbreviations of mineral names are listed in Table VI.

1) A **propilit** és szkarn képződése közvetlenül az andezit benyomulása után, valószínűleg azzal egy időben indulhatott meg. A Ca-szilikátok képződése elhúzódó lehetett, több fázis ismerhető fel.

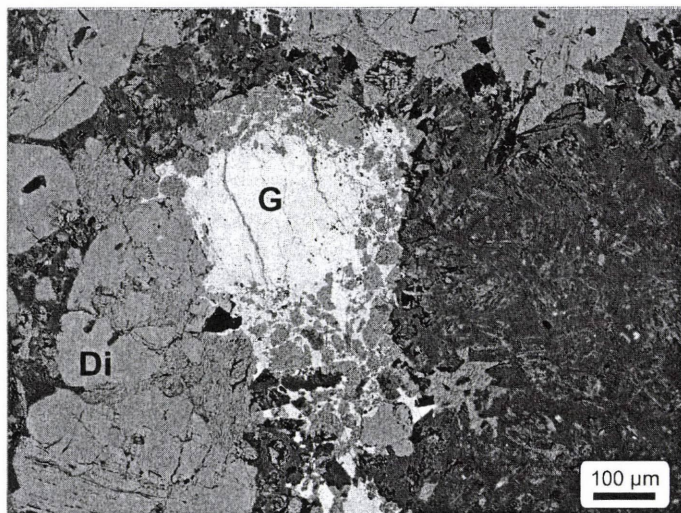
2) Az egyik első mészsilikát a **granditgránát**. Korai képződésére utal, hogy a diopszid kiszorítja (28. ábra), illetve az, hogy az andezit-vezuviánszkarn átmeneti sávban a zavaros, mikrokristályos halmazok belseje grosszulárgazdag gránát, míg átkristályoso-

dással ebből a fázisból jött létre a vezuvián (12. és 13. ábrák). Említést érdemel, hogy a mikrokristályos halmazok kristályszerkezete még nem tisztázott.

VI. táblázat. A használt ásványnév rövidítések táblázata (főként Kretz, 1983 alapján).

Table VI. Abbreviations of mineral names used (mainly from Kretz, 1983).

Ab	<i>albite</i>	albit
Alm	<i>almandine</i>	almandin
Adr	<i>andradite</i>	andradit
Arg	<i>aragonite</i>	aragonit
Brc	<i>brucite</i>	brucit
Cc	<i>calcite</i>	kalcit
Chl	<i>chlorite</i>	klorit
Cpx	<i>clinopyroxene</i>	klinopiroxén
Di	<i>diopside</i>	diopszid
En	<i>enstatite</i>	ensztatit
Ep	<i>epidote</i>	epidot
Fs	<i>ferrosilite</i>	ferroszilit
Fo	<i>forsterite</i>	forsterit
Grs	<i>grossular</i>	grosszulár
Hb	<i>hornblende</i>	hornblende
Hd	<i>hedenbergite</i>	hedenbergit
Kfs	<i>K-feldspar</i>	káliföldpát
Ms	<i>muscovite</i>	muszkovit
Opx	<i>orthopyroxene</i>	ortopiroxén
Per	<i>pericase</i>	periklász
Plg	<i>plagioclase</i>	plagioklász
Prh	<i>prehnite</i>	prehnit
Pi	<i>pyrite</i>	pirit
Prp	<i>pyrope</i>	pirop
Q	<i>quartz</i>	kvarc
Ser	<i>serpentine minerals</i>	szerpentinásványok
Sch	<i>schorlomite</i>	schorlomit
Sp	<i>spinel</i>	spinell
Spe	<i>spessartine</i>	spessartin
Tre	<i>tremolite</i>	tremolit
Trd	<i>tridymite</i>	tridimit
Ves	<i>vesuvianite</i>	vezuvián
Wo	<i>wollastonite</i>	wollastonit



28. ábra. Gránátot kiszorító diopszid a szkarnban (visszaszórt elektronkép; a gránát összetételét lásd a IV. táblázatban). A jobb oldalon elhelyezkedő tűs-léces pszeudomorfózáalmaz kvarcból és kalcitból áll, és valószínűleg wollastonit után képződött. Di: diopszid, G: gránát.

Fig. 28. Replacement of garnet by diopside (BSE image; the chemical composition of the garnet is given in Table IV). At the right the needle-shaped pseudomorphs are from quartz and calcite, formed probably after wollastonite. Di: diopside, G: garnet.

3) A nagyobb méretű, idiomorf **vezuviánkristályok** belseje gazdag zárványokban, melyek egy része sugaras szövetű pszeudomorfóza. Lehetséges, hogy a tűs-sugaras vezuvián korábbi kiválás volt, és ezt felemésztette, beburkolta a durvább „izometrikus” vezuvián. Az sem zárható ki, hogy a korábbi tűs fázis wollastonit volt.

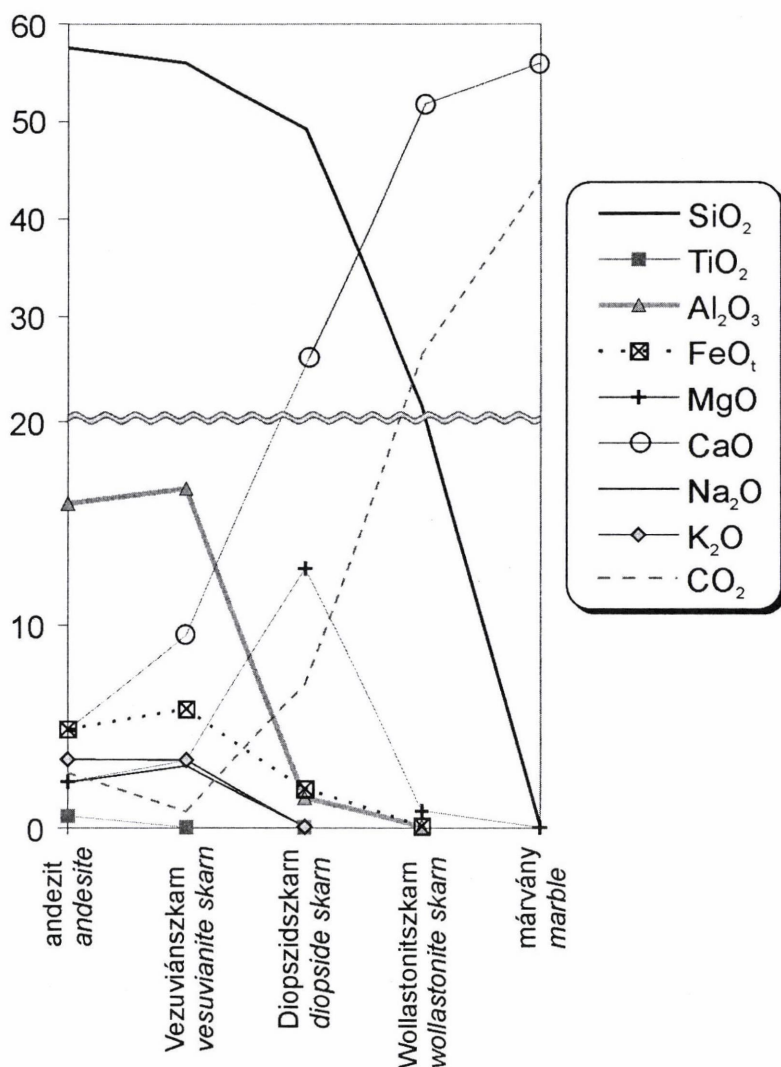
4) A másodlagos, fenn-nőtt, **adulár jellegű földpátok** az endoszkarn Ca-szilikátjainak létrejöttekor, az andezitből felszabaduló alkáliákból képződhettek.

5) A **prehnit** előfordul korai kiválásként is, az andezit alapanyagát helyenként teljesen kiszorítja, de a fenn-nőtt szkarnásványokat és a fent említett másodlagos földpátot beburkoló, valamint ereket képző késői fázisként is megjelenik.

6) A **pirit** második generációja valószínűleg egyidős a szkarnos fázis végével, de képződése benyúlhat a késői hidrotermás fázisba is. Erre utal, hogy a pirit néhol a sugaras növekedés vezuviáncsomók magját alkotja, de előfordul xenomorf, hézagkitöltő kiválásként is a szilikátok között (17. ábra), illetve saját alakú kristályként a késői karbonátban.

7) A **forsterit-, spinell- és periklász**tartalmú magnéziumszkarn a mészkő dolomit-tartalmú padjaiban alakult ki. Ennek a paragenézisnek a relatív kronológiája nem ismert, mert többnyire a közvetlen kontaktuson kifejlődött kalciumszkarntól elszigetelten található.

8) Egy **késői hidrotermás** fázis retrográd átalakulást okozott. A wollastonit és részben a diopszid is SiO_2 felszabadulásával átalakult kalcium-karbonát pszeudomorfózává, míg a kovásvav opálként, ereket alkotva kivált. A szórt magnézium-exoszkarn ásványai vízfelvétellel brucittá és szerpentinásványokká alakultak.



29. ábra. A főkomponensek változása az andezit, a szkarnváltozatok és a márvány között.

Az andezit összetétele hét elemzés átlaga, a wollastonitszkarnra megadott értéket egy jellemző

Wo 35%, Di 5%, Cc 60% kőzetösszetétel alapján számítottuk.

Fig. 29. Trend of bulk chemical change between andesite, different skarn types and marble. The chemical composition of andesite is the average of 7 analyses, while the chemistry of the wollastonite skarn was calculated according to a Wo 35%, Di 5%, Cc 60% typical composition.

4.2. A szkarnképződés körülményei

Az andezit és a márvány kontaktusán létrejött szkarnos képződményeket a telérek és felszínen fel nem tárt egykorú intrúziós testek termikus hatására bekövetkezett

fluidmozgás gerjesztette bimetaszomatikus folyamathoz rendeljük. Erről tanúskodik az ásványtani összetétel övessége, valamint az andezit és a márvány határán kialakult egyes szkarntípusok kémiai összetétele is (29. ábra). A SiO_2 -nak a márvány irányába, míg a CaO -nak a telérek felé történt vándorlása nyilvánvaló. Az alumínium-, vas- és alkáli-oxidok mennyisége az andezitben és a főleg vezuviából álló, karbonátszegény endoszkarnban hasonló. A kalciumtartalom növekedése a mész-szilikátásványok megjelenését tükrözi. A szén-dioxidnak az andezitben mért magasabb értéke a propilites és késői hidrotermális kalcitképződéshez köthető. Érdekes, hogy a vezuvián (endo)szkarnban a TiO_2 -tartalom az andezitbeli érték 10 %-ánál is alacsonyabb. Ez arra utal, hogy a titán a kalciumnak az andezitbe diffundálása során mobilissá vált, és elvándorolt.

Kérdéseket vet fel a diopszidszkarn magas MgO -tartalmának eredete. A magnézium nem származhat a diopszidszkarnnal közvetlenül határos, általában kizárólag kalcitból álló márványból, mivel a Polgárdi Mészkö átlagos MgO -tartalma alacsony (Horváth & Ódor, 1989). Annak feltevése is csak nehézkes magyarázat, hogy ahol diopszidszkarn van, ott dolomitos volt a mészkő, hiszen a diopszidszkarn elterjedt kontakt fácies. A legvalószínűbb az, hogy a magnézium mobilitása meghaladta a kalciumét, és a kontakt zóna környezetében kialakuló fluidumáramlási konvekciós cella a magnéziumot nagyobb távolságról (nagyobb térfogattól) is össze tudta gyűjteni és a reakcióképes andezit határáig szállítani.

A kontaktusokon kialakult bimetaszomatikus kalciumszkarnnal ellentétben a szórt magnéziumszkarnt autometaszomatikus jellegű képződménynek tartjuk. Ez a predazzitnak is nevezhető képződmény nem követi a kontaktusok lefutását, valószínűleg csak a dolomitartalmú mészkőpadokban alakult ki. A helyileg igen megnövekedő Mg -aktivitás hatására olivin, spinell és periklász jött létre. Kérdéses a kovasav eredete. Ez lehet diffúziós eredetű, vagy a dolomitlamellás rétegtagok eleve szennyezettebb karbonátja szolgáltathatta. A szórt magnézium-exoszkarn néhány vizsgált mintájában Na -alizarinos festéssel nem lehetett dolomitot kimutatni. Ez arra utal, hogy a karbonátban kötött magnézium teljes mennyisége reakcióba lépett, a rendszer SiO_2 -dal kiegyenlített volt.

A szkarntípusokon és az egyes szkarnásványokon végzett nyomelemvizsgálatok nem mutatnak sem polimetallikus, sem más jellegű elem dúslását a mészkőhöz és az andezithez képest (Dunkl, 1983). Ez a magmás telérek kis tömege és a szkarnosodás csekély terjedelme, a szulfidok elenyésző részaránya alapján érthető is.

Köszönetnyilvánítás

E cikk jelentős részben Dunkl István szakdolgozatán alapul, amely az ELTE Közöttan-Geokémiai Tanszéken készült, 1982–83-ban. D. I. ezúton fejezi ki hálás köszönetét konzulensének és tanítójának, Szabó Csabának. A kristályrács-paraméterek számításában és a röntgendiffrakciós felvételek elkészítésében Lovas György és Cornides Istvánné (ELTE Ásványtani Tanszék) nyújtott segítséget. A neutronaktivációs elemzéseket Bérczi János (BME Tanreaktora), míg a közetkémiai elemzéseket Hoffmann László (ELTE Közöttan-Geokémiai Tanszék), Dér Istvánné és Soha Istvánné (MÁFI) készítette. Az elektronmikroszkopos mérések és a SEM-felvételek Wolfgang Frisch támogatásával, Mathias Westphal és Margret Bayer (Tübingeni Egyetem) segítségével készültek. Mindannyiuk segítségét köszönjük.

Irodalom – References

- Albani, R., Lelkes-Felvári, Gy. & Tongiorgi, M. (1985): First record of Ordovician (Upper Aregian, Acrirarchs) beds in the Bakony Mts., Hungary. *Neues Jahrb. Geol. Paläontol., Abh.*, **170**, 45–65.
- Árkai, P., Lantai, Cs, Fórizs, I., & Lelkes-Felvári, Gy. (1991): Diagenesis and low-temperature metamorphism in a tectonic link between the Dinarides and the Western Carpathians: the basement of the Igal (Central Hungarian) Unit. *Acta Geol. Hung.*, **34**, 81–100.
- Balogh, K. (1981): Correlation of the Hungarian Triassic. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, **24**, 3–48.
- Castellarin, A., Lucchini, F., Rossi, P. L., Selli, L. & Simboli, G. (1988): The Middle Triassic magmatic-tectonic arc development in the Southern Alps. *Tectonophysics*, **146**, 79–89.
- Cros, P. & Szabó, I. (1984): Comparison of the Triassic volcanogenic formations in Hungary and in the Alps: Paleogeographic criteria. *Acta Geol. Hung.*, **27**, 265–276.
- Dódy I., Németh P. & Belluso E. (2003): Vezuviánok és gránátok a polgárdi Szár-hegyről (Vesuvianites and garnets from the Szár Hill, Polgárdi, Hungary). In: Szakáll S. & Fehér B. (szerk.): *A polgárdi Szár-hegy ásványai /Topogr. Mineral. Hung.*, **8/**, Miskolc: HOM, 115–134. (in Hung. with English abstract).
- Dudko A. (1986): A Velence–Balatonfő terület variszkuszi szerkezetalakulása (Variscan tectonics of the Velence-Balatonfő area). *M. Áll. Földt. Int. Évi Jel. 1984-ről*, 23–63. (In Hung. with English abstract)
- Dudko A. (1988): A Balatonfő-velencei terület szerkezetalakulása (Tectonics of the Balatonfő-Velence area (Hungary)). *Földt. Közl.*, **118**, 207–218. (In Hung. with English and Russian abstracts)
- Dudko, A., Horváth, I., Lelkes-Felvári, Gy., Majoros, Gy. & Ódor, L. (1985): The Velence Mountains and the Balatonfő Paleozoic horsts: field guide. Manuscript, Hung. Geol. Soc., 35.
- Dunkl I. (1983): *Szkarnosodott és agyagásványosodott magmatitok a polgárdi Szár-hegy két mélyfúrásában*. Szakdolgozat, kézirat (MSc. thesis, manuscript in Hung.). ELTE, Közzetan-Geokémiai Tanszék, Budapest, 134 p.
- Dunkl, I. (1990a): Fission track dating of tuffaceous Eocene formations of the North Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary). *Acta Geol. Hung.*, **33**, 13–30.
- Dunkl I. (1990b): *A fission track módszer és alkalmazása geokronológiai kérdések megoldásában*. Kandidátusi értekezés, kézirat (CSc. thesis, manuscript in Hung.). MTA, Budapest, 177 p.
- Földvári, A. (1952): Lead ores and fossiliferous Dinantian (Lower Carboniferous) at Szabadbattyán. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, **1**, 11–36.
- Harrach, O. (1980): *A Polgárdi-1, Dinnyés-3, Diósd-1 és Vál-3 fúrások közzetani-geokémiai vizsgálata*. Szakdolgozat, kézirat (MSc. thesis, manuscript in Hung.). ELTE, Közzetan-Geokémiai Tanszék, Budapest.
- Horváth, E. & Tari, G. (1987): Middle Triassic volcanism in the Buda Mountains. *Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Geol.*, **27**, 3–16.
- Horváth I. & Ódor L. (1989): A Polgárdi Mészke Formáció kontakt metamorf és metasomatikus jelenségei (Contact metamorphic and metasomatic phenomena in the Polgárdi Limestone Formation (Transdanubia, Hungary)). *M. Áll. Földt. Int. Évi Jel. 1987-ről*, 137–143. (In Hung. with English abstract)
- Jantsky B. (1966): *Ásványtelepeink földtana*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó. (In Hung.)
- Kiss J. (1951): A szabadbattyáni Szárhegy földtani és ércgenetikai adatai (Les conditions géologiques et metallogenétiques du Mont Szár de Szabadbattyán). *Földt. Közl.*, **81**, 264–274. (In Hung. with French abstract)
- Kiss J. (1954): A szabadbattyáni andezit és ércgenetikai jelentősége (Andesite from Szabadbattyán and its importance concerning the genesis of ores). *Földt. Közl.*, **84**, 183–189. (In Hung. with English and Russian abstracts)

- Kretz, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. *Amer. Mineral.*, **68**, 277–279.
- Leake, B. E. (1978): Nomenclature of amphiboles. *Mineral. Mag.*, **42**, 533–563.
- Lelkesné Felvári Gy. (1978): A Balaton-vonal néhány permnél idősebb képződményének közettani vizsgálata (Petrographische Untersuchung einiger präpermischen Bildungen der Balaton-Linie). *Geol. Hung. Ser. Geol.*, **18**, 193–295. (In Hung. with German abstract)
- Nakamura, N. (1974): Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **38**, 757–775.
- Németh P. (2001): *A polgárdi szkarn ásványtani vizsgálata*. Szakdolgozat, kézirat (MSc. thesis, manuscript in Hung.). ELTE, Ásványtani Tanszék, Budapest, 55 p.
- Oravecz J. (1964): Szilur képződmények Magyarországon (Silurbildungen in Ungarn und ihre regionalen Beziehungen). *Földt. Közl.*, **94**, 3–9. (In Hung. with German abstract)
- Pamić, J. (1984): Triassic magmatism of the Dinarides in Yugoslavia. *Tectonophysics*, **109**, 273–307.
- Rónai A. & Szentes F. (1972): Magyarázó Magyarország 200.000-es földtani térképsorozatához. L-34-VII. Székesfehérvár. Budapest: M. Áll. Földt. Int. 179 p. (In Hung.)
- Schréter Z. & Mauritz B. (1952): A lovasberényi II. számú mélyfúrás földtani eredményei (Les résultats géologiques du sondage No. II. de Lovasberény). *Földt. Közl.*, **82**, 250–256. (In Hung. with French and Russian abstracts)
- Stewart, D. B. (1974): Optic axial angle and extinction angles of alkali feldspars related by cell parameters to Al/Si order and composition. In: Mackenzie, W. S. & Zussman, J. (eds.) *The feldspars*. Manchester: Manchester Univ. Press, 145–161.
- Szabó, I. & Ravasz, Cs. (1970): Investigation of the Middle Triassic volcanics of the Transdanubian Central Mountains, Hungary. *Ann. Hist.-Nat. Mus. Natl. Hung.*, **62**, 31–51.
- Székyné Fux V. & Barabás A. (1953): A dunántúli felső-eocén vulkánosság (Les phénomènes volcaniques à l'Eocène supérieur en Transdanubie). *Földt. Közl.*, **83**, 217–229. (In Hung. with French and Russian abstracts)
- Szilágyi E. (1971): *A Szabadbattyán-Polgárdi mészkővonulat földtani, szerkezeti viszonyai*. Szakdolgozat, kézirat (MSc. thesis, manuscript in Hung.). ELTE Földtani Tanszék, Budapest.
- Vendl A. (1928): A Somlyó- és Szárhegy geológiája s egykori hévforrásai. *Hidrológiai Közlöny*, **4–6**, 37–44. (In Hung.)
- Zöldföldi, J. (1998): *Mineralogische, petrologische, geochemische und geochronologische Untersuchungen an Ganggesteinen des südwestlichen Austroalpinen Grundgebirges*. MSc. thesis, manuscript. University of Tübingen, 46 p.